



**УНИВЕРЗИТЕТ „ГОЦЕ ДЕЛЧЕВ“ – ШТИП  
ЕЛЕКТРОТЕХНИЧКИ ФАКУЛТЕТ**

**СЛАВИЦА КОСТАДИНОВА**

**ОПТИМИЗАЦИЈА НА ПОГОНСКИТЕ ТРОШОЦИ КАЈ ВОДОСНАБДИТЕЛНИТЕ  
СИСТЕМИ ПРЕКУ ЗГОЛЕМУВАЊЕ НА ЕНЕРГЕТСКАТА ЕФИКАСНОСТ**

**- МАГИСТЕРСКИ ТРУД -**

**Радовиш, февруари 2016**

### **Комисија за оценка и одбрана**

**Ментор:** Проф. д-р **Влатко Чингоски**  
Електротехнички факултет – Радовиш  
Универзитет „Гоце Делчев“ – Штип

**Член:** Проф. д-р **Татјана Атанасова - Пачемска**  
Електротехнички факултет – Радовиш  
Универзитет „Гоце Делчев“ – Штип

**Член:** Доц. д-р **Гоце Стефанов**  
Електротехнички факултет – Радовиш  
Универзитет „Гоце Делчев“ – Штип

### **Членови на комисија за оценка и одбрана**

**Претседател:** Проф. д-р **Татјана Атанасова - Пачемска**  
Електротехнички факултет – Радовиш  
Универзитет „Гоце Делчев“ – Штип

**Член:** Проф. д-р **Влатко Чингоски**  
Електротехнички факултет – Радовиш  
Универзитет „Гоце Делчев“ – Штип

**Член:** Доц. д-р **Гоце Стефанов**  
Електротехнички факултет – Радовиш  
Универзитет „Гоце Делчев“ – Штип

**Научно поле:** Електротехника

**Научна област:** Енергетска ефикасност на процеси

**Датум на одбрана:** 23.2.2016 г.

**Датум на промоција:** \_\_\_\_\_

## РЕЦЕНЗИРАНИ И ОБЈАВЕНИ ТРУДОВИ

Slavica Kostadinova, Vlatko Cingoski, Roman Golubovski and Saso Gelev, Faculty of Electrical Engineering, "Goce Delcev" University - Štip, Republic of Macedonia – **„POVEĆANJE ENERGETSKE EFIKASNOSTI VODOVODNIH SISTEMA POBOLJŠANJEM FAKTORA SNAGE PUMPNIH POSTROJENJA / INCREASING ENERGY EFFICIENCY OF WATER SUPPLY SYSTEMS WITH PUMP SYSTEMS POWER FACTOR IMPROVEMENT“**, Zbornik radova sa XX međunarodnog naučno - stručnog skupa INFORMACIONE TEHNOLOGIJE - sadašnjost i budućnost održanog na Žabljaku, Crne Gore od 23. do 28. februara 2015. godine, p.p. 160-163

Kostadinova S., M.Sc. Student, Panev A., M.Sc. Student, Prof. Dr Cingoski V. Faculty of Electrical Engineering, "Goce Delcev" University - Štip, Republic of Macedonia – **„SOME OPTIMIZATION METHODS FOR INCREASING THE ENERGY EFFICIENCY OF THE WATER SUPPLY SYSTEMS“**, XII INTERNATIONAL CONGRESS MACHINES, TECHNOLOGIES, MATERIALS 16–19.09.2015 VARNA, BULGARIA

Славица Костадинова, Аце Панев, Влатко Чингоски, Електротехнички факултет, Универзитет „Гоце Делчев“ – Штип, Македонија – **„ЗГОЛЕМУВАЊЕ НА ЕНЕРГЕТСКАТА ЕФИКАСНОСТ КАЈ ВОДОСНАБДИТЕЛНИТЕ СИСТЕМИ“**, 9. Советување на МАКО СИГРЕ 27–29 септември 2015 (A1-060R)

# ОПТИМИЗАЦИЈА НА ПОГОНСКИТЕ ТРОШОЦИ КАЈ ВОДОСНАБДИТЕЛНИТЕ СИСТЕМИ ПРЕКУ ЗГОЛЕМУВАЊЕ НА ЕНЕРГЕТСКАТА ЕФИКАСНОСТ

## Краток извадок

Сведоци сме на брзиот раст на цените на енергенсите, а постојат и реални очекувања дека тие и во иднина ќе растат, така што се јавува потреба од користење на енергетско ефикасни објекти. Примената на енергетско ефикасни објекти ќе придонесе за намалување на загубите и трошоците за топлинска и електрична енергија. Секаде каде што се користи енергија постојат можности за зголемување на нејзината ефикасност. Во најголем број случаи, мерките за енергетска ефикасност самите се отплаќаат преку намалување на трошоците при работа, односно преку плаќање на пониските сметки за потрошената електрична енергија и моќност.

Водоснабдителните системи по правило се големи потрошувачи на електрична енергија и моќност. Инвестициите во зголемување на нивната енергетската ефикасност не само што имаат економска димензија, туку овозможуваат и заштита на животната средина. Намалувањето на потрошувачката на енергијата има позитивен ефект врз животната средина, пред сè затоа што со намалената потрошувачка на фосилни горива, паралелно се намалува и емисијата на штетни гасови.

Токму затоа, предмет и основна цел на истражување во овој труд е зголемувањето на енергетската ефикасност кај водоснабдителните системи, односно дефинирање на методи и начини за модернизација на енергетскиот систем со цел намалување на неговите погонски трошоци и обезбедување на висок квалитет и сигурност во процесот на испорака и снабдување со комунална вода до сите крајни потрошувачи.

*„Она што треба да се направи е, подобрување на стандардите за енергетска ефикасност, развој на обновлива и алтернативна енергија и примена на еден ресурс кој постои во изобилство, кретаивноста“*

**Луис Капс**

**Клучни зборови:** водоснабдување, електрична енергија, моќност, трошоци, анализа, оптимизација.

# OPERATIONAL COST OPTIMIZATION IN WATER SUPPLY SYSTEMS THROUGH INCREASED ENERGY EFFICIENCY

## Abstract

We are witnessing the rapid growth of the energy prices, and there are expectations that they will continue to grow in the future, so there is a significant need for increasing of the energy efficiency and rational utilization of energy. Wherever the energy is used, there are the opportunities for increasing its effectiveness. In most cases, the energy efficiency solutions are repaid through lower operational cost and consequently lower energy bills.

The electrical energy consumption in the water supply systems is usually very large. Investments in the increasing of their energy efficiency will not only have an economic dimension, but also they could have large positive effect on environment protection schemes. The reduction of the energy consumption will have a positive effect of the environment because along with reduced consumption of fossil fuels, there will be reduction of greenhouse gases.

Therefore, the subject and the main objective of the research in this master's thesis is the increasing of the energy efficiency in the water supply systems i.e. defining the methods for modernization of the water supply energy systems in order to get the costs reductions and reliable water supply.

*“What we need to do is really improve energy efficiency standards,  
develop in full scale renewable and alternative energy  
and use the one resource we have in abundance,  
our creativity.”*

**Lois Capps**

**Key Words:** water supply, electricity, power, costs, analysis, optimization.

## **СОДРЖИНА**

<b>1. ВОВЕД.....</b>	<b>1</b>
<b>2. ПРЕГЛЕД НА ЛИТЕРАТУРА.....</b>	<b>4</b>
2.1. Поширока листа на литература што го разработува проблемот на зголемување на енергетската ефикасност кај водоснабдителните системи ...	4
2.2. Користена литература за потребите на магистерскиот труд .....	5
<b>3. ЦЕЛ НА ИСТРАЖУВАЊЕТО .....</b>	<b>7</b>
<b>4. ТЕОРЕТСКИ ПРИСТАП КОН ПРОБЛЕМОТ НА ИСТРАЖУВАЊЕТО.....</b>	<b>9</b>
4.1. Електрична енергија и ангажирана моќност .....	9
4.2. Енергетска ефикасност.....	10
4.2.1. Енергетска ефикасност кај водоснабдителните системи .....	12
4.3. Цени на електричната енергија во Македонија.....	16
<b>5. ВОДОСНАБДИТЕЛЕН СИСТЕМ НА ЈП „ПЛАВАЈА“ – РАДОВИШ.....</b>	<b>21</b>
5.1. Опис на системот .....	21
5.1.1. Цевководи .....	21
5.1.2. Резервоари.....	23
5.1.3. Пумпи.....	23
5.1.4. Мотори.....	34
<b>6. МЕТОДИ НА ИСТРАЖУВАЧКАТА РАБОТА .....</b>	<b>35</b>
6.1. Анализа на моменталната состојба на системот на ЈП „Плаваја“ – Радовиш.....	35
6.2. Референтна годишна потрошувачка на електрична енергија во ЈП „Плаваја“ – Радовиш .....	41
6.3. Пресметка на потребите од вода врз основа на меродавниот број на жители со примена на регресиона анализа .....	52
6.4. Методи за намалување на потрошувачката на електрична енергија во системот.....	60
6.4.1. Реорганизација на работата на пумпите.....	60
6.4.2. Примена на кондензаторски батерии за компензација .....	61
6.4.3. Оптимизација на режимот на работа на пумпите во зависност од потребите и цените на електричната енергија .....	66
<b>7. РЕЗУЛТАТИ .....</b>	<b>71</b>
7.1. Технички придобивки од реализацијата на предложените методи .....	71
7.1.1. Реорганизација на работата на пумпите.....	71
7.1.2. Примена на кондензаторски батерии за компензација .....	72

7.1.3. Оптимизација на режимот на работа на пумпите во зависност од потребите и цените на електричната енергија .....	73
7.2. Финансиски придобивки од реализацијата на предложените методи ..	82
7.2.1. Реорганизација на работата на пумпите.....	82
7.2.2. Примена на кондензаторски батерии за компензација .....	84
7.2.3. Оптимизацијата на режимот на работа на пумпите .....	85
7.3. Ранг-листа на приоритетни методи .....	91
<b>8. ЗАКЛУЧОК .....</b>	<b>92</b>
<b>9. КОРИСТЕНА ЛИТЕРАТУРА (REFERENCES): .....</b>	<b>95</b>

## ЛИСТА НА ТАБЕЛИ

Табела 1: Цени за електрична енергија за домаќинствата и различните категории на тарифни потрошувачи во РМ кои важат од 1.7.2014 г. ....	17
Табела 2: Просечните остварени цени на категориите на тарифни потрошувачи приклучени за период од 2010 до 2014 г. ....	19
Табела 3: Резервоари на ВС во Радовиш .....	23
Табела 4: Каптажи на ВС во Радовиш .....	23
Табела 5: Карактеристики на пумпните станици на ЈП „Плаваја – Радовиш“ .....	27
Табела 6: Електрични спецификации за Lowara SV6008 F220T .....	29
Табела 7: Електрични спецификации за Lowara SV9206 F450T .....	31
Табела 8: Средни протоци за 2010 година .....	37
Табела 9: Вредности за притисоците за различните режими на работа за 2010 г.....	38
Табела 10: Волумен на резервоарите .....	39
Табела 11: Потребни количини за водоснабдување ( $m^3/ден$ ) .....	39
Табела 12: Среднодневна потрошувачка ( $l/s$ ).....	39
Табела 13: Максимална дневна потрошувачка на вода $q_{max}/ден$ ( $l/s$ ) .....	40
Табела 14: Минимална дневна потрошувачка на вода $q_{min}/ден$ ( $l/s$ ) .....	40
Табела 15: Максимална часовна потрошувачка на вода $q_{max}/h$ ( $l/s$ ) .....	40
Табела 16: Потрошена електрична енергија и моќност .....	42
Табела 17: Потрошена електрична енергија и моќност .....	42
Табела 18: Потрошена електрична енергија и моќност .....	43
Табела 19: Потрошена електрична енергија и моќност .....	43
Табела 20: Потрошена електрична енергија и моќност .....	44
Табела 21: Потрошена електрична енергија и моќност .....	44
Табела 22: Побарувачка за вода во Општина Радовиш.....	52
Табела 23: Добиени вредности за системот на ЈП „Плаваја“.....	58
Табела 24: Предвидена максимална часовна потрошувачка за Зона 3 и населените места: Воиславци, Султурци и Ињево.....	68
Табела 25: Трошоци за различни вредности на двата хистерезиса .....	79
Табела 26: Потребни средства за обезбедување на компензација .....	84
Табела 27: Потрошени парични средства за електрична енергија во април и август, 2013 г. ....	86
Табела 28: Количина на потрошена вода во Општина Радовиш .....	86
Табела 29: Трошоци за нарачка на SCADA систем .....	90



## ЛИСТА НА СЛИКИ

Слика 1: Основна шема на водоснабдителен систем .....	13
Слика 2: Пораст на цените на електричната енергија од 2010 до 2014 г.....	20
Слика 3: Шема на водоснабдителен систем во Радовиш .....	22
Слика 4: Шема на системот на ЈП „Плаваја“ со четирите зони .....	25
Слика 5: Пумпни станици на ЈП „Плаваја – Радовиш“.....	27
Слика 6: Димензии на LOWARA SV6008F220 F450T пумпа .....	29
Слика 7: Работна карактеристика на на LOWARA SV6008F220 F450T пумпа .....	30
Слика 8: Димензии на LOWARA SV9206 F450T пумпа .....	32
Слика 9: Работни карактеристики на LOWARA SV9206 F450T .....	33
Слика 10: Интерфејс на системот за управување со нивото на вода во резервоарот ..	35
Слика 11: Блок дијаграм на системот во LabView .....	36
Слика 12: Вкупен износ за потрошена електрична енергија и моќност по месеци за 2008 г. ....	45
Слика 13: Вкупен износ за потрошена електрична енергија и моќност по месеци за 2009 г. ....	45
Слика 14: Вкупен износ за потрошена електрична енергија и моќност по месеци за 2010 г. ....	46
Слика 15: Вкупен износ за потрошена електрична енергија и моќност по месеци за 2011 г. ....	46
Слика 16: Вкупен износ за потрошена електрична енергија и моќност по месеци за 2012 г. ....	47
Слика 17: Вкупен износ за потрошена електрична енергија и моќност по месеци за 2013 г. ....	47
Слика 18: Вкупен износ за потрошена електрична енергија и моќност по месеци за 6 години. ....	48
Слика 19: Потрошувачка на електрична енергија за јануари и август за период 2008 – 2013 г. ....	49
Слика 20: Потрошени парични средства за ангажирана моќност за период 2008 – 2013 г. ....	50
Слика 21: Сума платена за реактивна моќност од електрична мрежа за период 2008 – 2013 г. ....	51
Слика 22: Геометриски збир на активна и реактивна моќност .....	53
Слика 23: Геометриски збир на активна и реактивна моќност .....	61
Слика 24: Напојување на електричен мотор со и без компензација .....	62
Слика 25: Електричен мотор кој користи реактивна моќност од кондензаторска батерија .....	63
Слика 26: Резултантна (а) струја и (б) реактивна моќност пред и по компензацијата.....	65

Слика 27: Графички интерфејс на симулацијата .....	67
Слика 28: Максимална часовна побарувачка на вода во Зона 3 и населените места Воиславци, Сулдурци и Ињево .....	69
Слика 29: Шема на пумпните станици на ЈП „Плаваја“ со централна и фискална компензација на реактивна моќност .....	73
Слика 30: Состојба за количината на вода во резервоарот кога за првпат се пуштаат пумпите во скапа тарифа .....	74
Слика 31: Состојба на резервоарот по 22:00 часот .....	76
Слика 32: Симулација за периодот од 07:00 до 22:00 часот .....	77
Слика 33: Симулација за периодот од 22:00 до 07:00 часот .....	77
Слика 34: Дел од интерфејсот за состојбата за количината на вода во резервоарот по симулацијата .....	80
Слика 35: Вкупен износ за потрошена електрична енергија и моќност по месеци за 6 год. ....	83
Слика 36: Просечна цена по kVAh за опрема за компензација .....	84
Слика 37: Сума платена за реактивна моќност од електрична мрежа за период 2008 – 2013 г. ....	85
Слика 38: Трошоци за различни вредности на двата хистерезиса.....	86
Слика 39: Заштеда по месеци со реализација на предложениот метод .....	89
Слика 40: Заштеда по месеци со реализација на предложениот метод.....	90

## 1. ВОВЕД

Кај водоснабдителните системи енергијата се користи во сите чекори на нејзиното производство: почнувајќи од пумпањето на водата во резервоарите за вода, преку процесот на прочистување на водата, па сè до пренесување на истата преку водоводната мрежа до крајните корисници.

Загубата на енергија кај овие системи е голема и генерално е условена од повеќе причини:

- несоодветно дизајнирани пумпни станици;
- недостатоци во инсталацијата и во одржувањето на опремата;
- стари цевководи со големи загуби;
- „*тесни грла*“ во водоснабдителната мрежа;
- прекумерен или недоволен притисок на водата во системот и сл.

Во последните неколку децении, лицата кои се задолжени за управување со системите за водоснабдување посебно внимание посветуваат на можностите и начините за намалување на потрошувачката на енергија. Зголемените цени на енергенсите, дополнително придонесуваат за зголемена потреба од алтернативни решенија со примена на обновливи извори на енергија и создавање на хибридни енергетски решенија, посебно поврзани со потрошувачката на вода.

Процесите на прочистувањето на водата, обезбедување чиста вода за пиење до потрошувачите и ослободување од отпадните води, се состојат од неколку чекори кои бараат одредено количество на енергија.

Количеството на енергија потребно за реализација на овие активности пред сè зависи од:

- топологијата помеѓу изворите на вода и дестинацијата (*особено висинските промени*);
- растојанието помеѓу изворите и потрошувачите;
- интегритетот на **примарната** (*цевки за снабдување со вода*) и **секундарната** (*цевки за дистрибуција на вода*) водоснабдителна мрежа.

На глобално ниво кога станува збор за водоснабдителните системи, потрошувачката на енергијата е секогаш еден од првите три најголеми трошоци во процесот на работење. Уште повеќе, во земјите во развој, потрошувачката на енергијата кај водоснабдителните системи е на прво место.

Потрошувачката на електрична енергија при процесот на пумпање на водата опфаќа најголем дел од трошоците кај водоснабдителните системи. Покрај повеќето практични решенија кои можат да обезбедат намалување на потрошувачката на енергија кај водоснабдителните системи, промените во процесот и системот на пумпање на водата се доста ефективни, бидејќи не е потребно дополнително инвестирање и може да доведе до значително намалување на потрошувачката на електрична енергија за релативно многу кратко време.

Како што е познато, нормалната работа на еден водоснабдителен систем е доста сложен процес бидејќи во процесот на зголемување на неговата енергетска ефикасност постојат повеќе цели, кои треба да се постигнат речиси едновременно. Од големиот број на можности, потребно е да се утврди најдобрата со која од една страна ќе се обезбеди квалитетна услуга, но од друга страна и заштеда на енергија преку примената на соодветни оптимизациони модели кои во предвид ги земаат сите параметри и компоненти во системот, што несомнено е од првостепено значење и приоритет.

Зголемувањето на енергетската ефикасност кај водоснабдителните системи е предмет на истражување во многу трудови. Голем дел од истражувачите од оваа област имаат предложено најразлични методи за оптимизација на комплексни мрежи, со цел намалување на потрошувачката на електрична енергија (*Moreira, Ramos, 2013*). Повеќето од нив се состојат во прераспределување на работењето на пумпните станици преку нивно вклучување кога цената за електрична енергија се тарифира по пониска цена (*особено во ноќните часови*) (*Moreira, Ramos, 2013*). Дел од нив предлагаат замена на старата и несоодветна опрема со нова и посовремена, парцијална или целосна замена на системот за дистрибуција на вода или пак нова организација во процесот на работа на водоснабдителниот систем (*De La Vega, 2009*).

Целта на овој магистерски труд е покрај експлоатација на ваквите конвенционални методи за заштеди, предлагање и на други посовремени

методи за зголемување на енергетската ефикасност кај водоснабдителните системи, анализа на евентуалните придобивки од тие методи и дефинирање на соодветни предлози за модернизација на водоснабдителните системи, преку примена на современи компјутерски и телекомуникациски техники и постапки.

Анализите кои се предмет на ова истражување се поткрепени со реални податоци за работата и трошоците на еден конкретен водоснабдителен систем, водоснабдителниот систем при ЈП „Плаваја“ од Радовиш, за кој е прикажана постоечката енергетска состојба и е одредена референтната годишна потрошувачка на енергетските ресурси. Освен тоа, направени се истражувања и за типот и староста на опремата и недостатоците кај овој типичен водоснабдителен систем.

Врз основа на реалните податоци, предложени се неколку методи за зголемување на енергетската ефикасност, а освен тоа прикажана е и анализата на резултатите, приоритетната ранг листа на мерки и активности како и анализите за економската оправданост за примена на истите.

## 2. ПРЕГЛЕД НА ЛИТЕРАТУРА

### 2.1. Поширока листа на литература што го разработува проблемот на зголемување на енергетската ефикасност кај водоснабдителните системи

Проблемот околу зголемувањето на енергетската ефикасност кај водоснабдителните системи сè повеќе е цел на истражување на голем број водечки имиња од енергетската област. Дел од трудовите на познати истражувачи кои бараат решение за овој проблем се прикажани во продолжение.

*„Оптимизација на потрошувачката на енергија кај водоснабдителниот систем Fátima во Португалија“, Daniel F. Moreira и Helena M. Ramos, 2013*

Оваа студија предлага оптимизациони методи за намалување на потрошувачката на енергија кај водоснабдителниот систем Fátima во Португалија. Според оваа студија, зголемувањето на енергетската ефикасност кај пумпите резултира со намалени оперативни трошоци. За потребите на студијата направена е анализа на водоснабдителниот систем Fátima т.е. анализирани се кривите за секоја од карактеристиките на пумпите. За да се обезбеди најефикасен распоред за работа на пумпите применет е генетски алгоритам (GA). На крајот е донесен заклучокот дека моменталната дневна потрошувачка на енергија кај овој водоснабдителен систем може да се намали за речиси 43.7%.

*„Подобрен стохастички модел за оптимизација кај водоснабдителните пумпни системи во урбаните мрежи“, Jonathan De La Vega, Douglas Alem, 2009*

Оваа студија го испитува проблемот на зголемување на енергетската ефикасност кај пумпите за вода кај водоснабдителниот систем во Бразил. Целта на оваа студија е да се утврди метод за минимизација на трошоците за електрична енергија кај водоснабдителниот систем. Заклучокот на оваа студија е дека правилното распоредување на работата на пумпите за вода обезбедува минимизација на трошоците за електрична енергија, минимизација на загубите на вода и зголемена ефикасност кај водоснабдителните системи.

## 2.2. Користена литература за потребите на магистерскиот труд

За изработка на овој магистерски труд е користена литература од оваа област од повеќе странски и домашни автори, од каде се добиени податоци околу следните теми и прашања:

- **кои се причините** за зголемената потрошувачка на електрична енергија кај водоснабдителните системи во светски рамки?
- **кои се методите** кои најчесто се користат за зголемување на енергетската ефикасност?
- **кои се придобивките** од примената на овие методи?

Бидејќи истражувањата и анализите во овој магистерски труд се направени врз основа на реални податоци за водоснабдителниот систем на ЈП „Плаваја“ – Радовиш, искористени се реални податоци за моменталната состојба.

За потребите на овој магистерски труд, искористени се податоци за постојната состојба на системот за водоснабдување. Дополнително, во процесот на анализа, се искористени и реалните фактури за потрошувачката на електрична енергија како резултат на реализацијата на водоснабдителните активности на ова јавно претпријатие за периодот од 2008 до 2013 г. со цел, анализа на истите и добивање реални податоци колкав е уделот на трошоците за електрична енергија во делот на вкупните трошоци на претпријатието, како и каков е соодносот помеѓу трошоците исплатени за сметка на ангажираната моќност на системот и трошоците исплатени за потрошена електрична енергија. Искористени се и податоци за техничките карактеристики на опремата со која располага ова јавно претпријатие.

За анализа на порастот на цените на енергенсите за последните неколку години во Република Македонија и нивното влијание врз вкупните трошоци за електрична енергија во јавното претпријатие, искористени се реални податоци за движењето на цената на електричната енергија и тарифните ставови кои се преземени од официјалната Интернет страница на Регулаторната комисија за енергетика на Република Македонија (<http://www.erc.org.mk/>) (*Регулаторна комисија за енергетика на РМ, 2015*)

За потребите на магистерскиот труд, изработена е и симулација за постоечката работна состојба на водоснабдителниот систем во ЈП „Плаваја“ – Радовиш, како и симулација за евентуалната идна енергетска состојба во претпријатието по имплементацијата на дел или на сите предложени мерки за зголемување на енергетската ефикасност на водоснабдителниот систем, со примена на софтверскиот пакет LabView на National Instruments.



### 3. ЦЕЛ НА ИСТРАЖУВАЊЕТО

За потребите на овој магистерски труд се искористени реални податоци за работата и трошоците на водоснабдителниот систем на градот Радовиш. За таа цел е направена анализа на работата на овој систем кој го обезбедува водоснабдувањето на градот Радовиш со приградските населби и индустријата.

Водоснабдувањето во Радовиш е обезбедено преку зафаќање на вода од бунарски систем од каде преку соодветни резервоари водата се доведува до градската дистрибутивна водоводна мрежа. Кај ваквите водоснабдителни системи, пумпањето на водата за пиење зазема најголем дел од вкупните трошоци на енергија. Бидејќи за пумпање на водата е потребно повеќе енергија, заштеда од само неколку проценти од истата може да обезбеди значителна заштеда на пари. Кај повеќето пумпни станици, мали модификации или промени во режимот на работа може да резултираат со значителни енергетски заштеди.

Кај водоснабдителниот систем на градот Радовиш постои истиот проблем: високи трошоци за електрична енергија кои, како последица на брзиот раст на цените на енергенсите, од година во година сè повеќе се зголемуваат.

Примарна цел на истражување во овој труд е зголемувањето на енергетската ефикасност кај водоснабдителните системи.

Сепак, неопходно е да се забележи дека главната цел на ова истражување произлегува од неколку поединечни цели кои се опфатени во теоретско-истражувачкиот дел:

- изработка на техно-економска анализа за потрошувачката на енергија во ЈП „Плаваја“ – Радовиш врз основа на постојните трошоци регистрирани во процесот на досегашното работење на системот;
- дефинирање на можни методи за намалување на трошоците за експлоатација и одржување на постојната опрема, како и предлог-мерки за замена, модернизација или надградба на истата;
- примена на методи за оптимизација на режимот на работа на пумпите во зависност од потребите и цените на електричната енергија;

- изнаоѓање на предлог-мерки за намалување на загадувањето на животната средина и нејзино унапредување;
- обезбедување на високо ниво на квалитет на испорака на вода кај сите потрошувачи без разлика на нивната категорија (*индустрија, земјоделство и домаќинства*);
- анализирање на предложените мерки и активности, формирање на ранг-листа со приоритетни мерки и активности за реализација во насока на подобрување на енергетската ефикасност, преку споредбена анализа за економската оправданост на овие мерки и активности.

За исполнување на главните и поединечните цели на оваа истражување се направени анализи со користење на релевантни податоци за работата добиени конкретно за водоснабдителниот систем на градот Радовиш.

## 4. ТЕОРЕТСКИ ПРИСТАП КОН ПРОБЛЕМОТ НА ИСТРАЖУВАЊЕТО

### 4.1. Електрична енергија и ангажирана моќност

Во овој магистерски труд често (ќе) се среќаваат поимите **електрична енергија** и **ангажирана моќност**. Оваа поглавје се однесува токму на овие два поима, односно на значењето на секој од нив и суштинската разлика помеѓу нив.

Електричната енергија е еден од облиците на енергија кој се произведува под дејство на електромагнетно поле. Покрај оваа дефиниција, постои општо прифатена дефиниција дека електрична енергија е онаа енергија која се произведува во електраните, се пренесува со далеководите и се дистрибуира до потрошувачите при што истата се користи за работа на апаратите за домаќинство, канцелариската опрема, индустриските машини и дополнително овозможува доволно енергија за осветлување, греење, готвење и за други индустриски процеси (*Енергетска азбука, 2014*).

**Електричната енергија** зазема значаен удел во секојдневниот живот на луѓето. Со правилно користење и штедење на електрична енергија се овозбедува посигурна иднина за генерациите што доаѓаат, а освен тоа се продолжува и работниот век на електричните апарати. Разумното користење на електричната енергија е многу важно затоа што со штедење на електрична енергија се обезбедуваат можности за подобар живот и зголемување на стандардот на живеење.

**Ангажираната моќност** пак, претставува расположлив капацитет на мрежата што му овозможува на потрошувачот да користи електрична енергија во секое време и според потребите во рамки на одобраниот капацитет. *На пример:* со вклучување на електричен апарат или светилка во домот, се започнува со процесот на трошење на електрична енергија која всушност е на располагање во секое време во системот. (*Енергетска Азбука, 2014*)

Ангажираната моќност од 33% во сметките за електрична енергија е утврдена со посебна Одлука на Регулаторната Комисија за енергетика, во согласност со Тарифниот систем на Република Македонија. Ангажираната моќност е дел од цената на електричната енергија во сите земји, бидејќи претставува одраз на реален трошок кој се создава за да се обезбеди во секое

време сигурност и доверливост во процесот на снабдување со електрична енергија до крајните потрошувачи. Во одредени земји, ангажираната моќност е дел од самата цена, а во Република Македонија овој трошок е транспарентно издвоен согласно постоечката законска регулатива. (ЕВН Македонија, 2014)

Крајната цена на електричната енергија во Република Македонија се состои од неколку компоненти, и тоа:

- цена за користење на електрична енергија во текот на денот и во текот на ноќта, (*дневна и/или ноќна цена, односно висока тарифа, ВТ или ниска тарифа, НТ*)
- цена за користење на активна и реактивна моќност
- цена за ангажирана моќност на потрошувачот.

Во согласност со постоечките прописи во Република Македонија, кај поголемите индустриски потрошувачи ангажираната моќност дополнително се мери и пресметува, додека кај домаќинствата, како што беше спомнато претходно, таа е фиксирана на 33,33% од преземената количина на електрична енергија.

#### **4.2. Енергетска ефикасност**

Енергетска ефикасност претставува користење/трошење на помалку енергија за ист производ или услуга, или како што и самиот збор означува **ефикасно користење на енергијата**. Тоа значи дека енергетската ефикасност подразбира множество на мерки и методи кои би требало да се превземат за да се намали големата потрошувачка на енергија, а сепак да не се нарушат постоечките услови и квалитетот во работењето изразени преку квалитетот на произведените добра или квалитетот на реализираните услуги.

Со зголемување на енергетската ефикасност не смее да се намали квалитетот на услугата (*на пр. не смее да се загрози квалитетот на производствениот процес, ниту да се намали квалитетот на водоснабдителните услуги*), додека со заштеда на енергијата може да дојде до загрозување на квалитетот на услугите, намалување на квалитетот на производството, рестрикции во водоснабдувањето и сл. Тоа е основната разлика помеѓу термините заштеда на енергија и зголемување на енергетска ефикасност.

Значењето на енергетската ефикасност, т.е на примената на енергетско ефикасни уреди, постапки, методи и/или објекти може да се согледа преку фактот дека е возможно да се обезбеди идентично ниво на квалитет на производство, услуги или едноставно живот, но со примена на помала количина на енергија, пред сè онаа создадена преку согорување на фосилни горива. Бидејќи постојат ограничени количини на фосилни горива, а нивната побарувачка сè повеќе и повеќе расте, важноста од зголемување на нивото на енергетска ефикасност е широко прифатена насекаде низ светот.

Само во текот на последната деценија потрошувачката на енергија во Република Македонија е двојно зголемена. Причина за тоа е зголемувањето на индустриската активност, застарените техничко-технолошки средства за производство и искористување на енергијата, како и застарената инфраструктура што драстично го забрзува неефикасното користење на енергијата (*Агенција за Енергетика на РМ, 2014*).

Мерките за енергетска ефикасност се корисни на повеќе начини. Нивното спроведување може да резултира со намалување на сумата на сметките за електрична енергија, при што заштедените парични средства би можеле да се искористат за подобрување на стандардот на живеење и работење на работниците, потрошувачите и граѓаните. Колку брзо ќе се отплати инвестицијата зависи од многу фактори, но пред сè од цената на енергијата и од видот на применетите мерки за енергетска ефикасност. Пример за мерка за зголемување на енергетска ефикасност е минимизирање на примената на фосилните горива преку примена на обновливи извори на енергија со што се обезбедува спречување на појавата на негативните климатски промени, заштеда на парични средства и подобра иднина за следните генерации.

Енергетската ефикасност е најсериозен, најевтин и најбрз пристап кој треба да се примени во многу различни сегменти во општеството, започнувајќи од сопствениот дом или автомобил, па сè до големите административни згради, индустриски објекти и процеси.

Енергетската ефикасност пред сè е работа на свеста на луѓето и на нивната желба за промена на лошите енергетски навики кон енергетско ефикасни решенија. Од таа страна, кога се даваат препораки за подобрување на енергетска ефикасност, прво што треба да се направи е да се анализираат навиките на потрошувачите, а потоа да се коригираат истите во вистинската

насока. Ваквите мерки се бесплатни и можат да донесат значајни финансиски заштеди од една страна, а од друга страна можат да дадат голем придонес кон унапредување на животната средина и животниот стандард на луѓето (*Енергетска азбука, 2014*).

#### **4.2.1. Енергетска ефикасност кај водоснабдителните системи**

**Водоснабдителниот систем** претставува мрежа од хидраулични елементи кои се меѓусебно поврзани со цел обезбедување на вода од изворите и нејзина дистрибуција до потрошувачите. Главната цел на водоснабдителните системи е да ги задоволат потребите за вода на потрошувачите, при што за да го постигнат тоа, потребно е да пренесат одредени количества на вода (*со утврден квалитет и во одреден временски интервал*) од местата каде што се прибира водата, се врши обработка и прочистување на истата, па сè до местото каде се врши испорака на таа вода до потрошувачите кои потоа ја користат таа вода за пиење, за готвење, за санитарни потреби, за наводнување, како индустриска вода и сл. Водоснабдувањето исто така е важно и за производството и индустријата, а дополнително и за противпожарните хидранти со цел обезбедување на адекватна противпожарна заштита.

Водоснабдителните системи генерално имаат две важни функции:

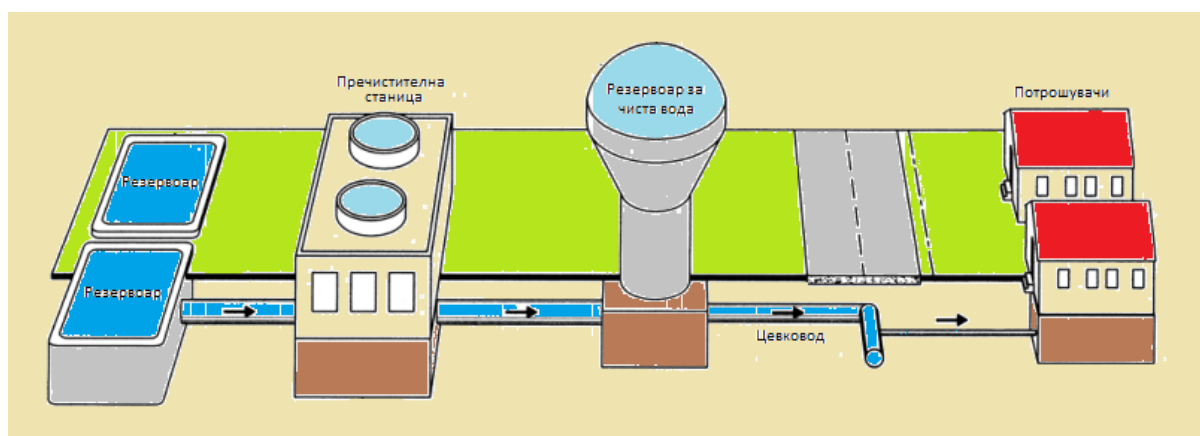
1. Пренесување на соодветна количина на вода со определен физичко-хемиско-биолошки квалитет со цел задоволување на сите потреби на потрошувачите
2. Обезбедување на соодветна надлежност на системот за водоснабдување т.е. техничко-технолошко обезбедување, потребната количина на вода да биде расположлива за корисниците (*потрошувачите*) непрекинато, односно 24 часа на ден, 365 дена во годината (*Harry E. Hickey, 2008*).

Според Harry E. Hickey, 2008, водоснабдителниот систем може да се претстави како човечкиот систем за циркулација на крвта, според кој срцето е главниот орган кој ја пумпа крвта низ артериите, вените и капиларите со цел секоја клетка од човечкото тело да биде обезбедена со потребните количини на кислород и храна. Аналогно на тоа, водената пумпа кај водоснабдителниот

систем има за цел да ја испумпа целокупната потребна количина на вода со бараниот квалитет (*притисок и количина*) до секој од крајните потрошувачи.

Еден стандарден градски водоснабдителен систем вообичаено има најмалку еден извор за вода кој е адекватен за соодветното населено место. Заради можности од варијација на издашноста на изворот на вода по однос на количините и квалитет на водата, најчесто секој сериозен водоснабдителен систем за безбедност и доверливост во снабдувањето со вода, користи повеќе од еден извор на вода и дополнително гради соодветни резервоари на вода. Од изворот до резервоарот водата може да се пренесува по гравитационен пат (*доколку географските прилики тоа го овозможуваат*) или пак со помош на пумпни станици.

На Слика 1 е претставена шема на стандарден водоснабдителен систем со неговите составни делови. Водата од двата резервоара се пренесува до пречистителните станици каде се врши обработка (*прочистување*) на водата за да се добие чиста (*физичко-хемиско-биолошки исправна*) вода за пиење. Потоа прочистената вода се испумпува до резервоарите кои најчесто се наоѓаат во близина на населеното место од каде што пивката вода преку системот за пренесување и дистрибуција на водата (*цевководи*) се пренесува до потрошувачите. Вообичаено, поради различните висински точки во населеното место се применуваат дополнителни пумпни станици за да се обезбеди потребниот притисок во системот во различни случаи на примена на водата.



Извор: *Water Supply Systems and Evaluation Methods, 2008*

Слика 1: Основна шема на водоснабдителен систем  
Figure 121: The basic scheme of simple water supply system.

Големата потрошувачка на електрична енергија кај водоснабдителните системи се должи на употребата на пумпи кои се големи потрошувачи. Нивната нерамномерна работа, невниманието и/или неусогласеноста во процесот на нивното вклучување и/или исклучување, негрижата за периодот на работење во однос на евтина и скапа тарифа на електрична енергија, се само дел од причините за зголемената потрошувачка на електрична енергија.

Постојат голем број на истражувања поврзани со енергетската ефикасност кај водоснабдителните системи, при што се претставени голем број на оптимизациони методи кои даваат одлични резултати и имаат одредена економска исплатливост. При имплементација на методите за оптимизација треба да се внимава на (Reynolds, Bunn, 2010):

- **Робусност:** постојат методи кои доведуваат до оптимално решение за зголемување на енергетската ефикасност кај водоснабдителниот систем, но сепак тие можат да доведат до појава на грешки во работењето на системот или до намалување на квалитетот на услугата, која ја дава водоснабдителниот систем на крајните потрошувачи.
- **Брзина:** заради промените во системот кои настануваат при имплементацијата на оптимизационите методи, потребно е брзо донесување на одлуки за прилагодување на новите услови.
- **Надежност:** системите во кои се имплементираат методите за оптимизација имаат потреба од точни податоци за системот кои ги добиваат од систем на соодветни **сензори** (*мерачи/давачи на информации*), а кои потоа ги испраќаат на соодветните **актуатори** (*извршните уреди*). За пренос на податоците се користат најразлични комуникациски канали. Заради тоа, во некои случаи може да се случи податоците кои се добиваат да се неточни, што пак може да резултира со погрешни предвидувања и донесување на погрешни одлуки.
- **Точност:** кога се врши моделирање на еден реален водоснабдителен систем, потребно е моделот да ја отсликува што е можно поточно формата и содржината на системот со сите негови карактеристики. Заради тоа е потребна систематска и детална анализа на реалниот систем.



Како што беше претходно спомнато, системот за пренос на водата (цевководите) е еден од најважните делови на водоснабдителниот систем. Надежноста на водоснабдителниот систем е многу поголема кога постои затворен систем за пренос на водата. Според Ioan Sarbu, 2010, цената на системот за пренос на вода може да биде поголема од 60% во однос на вкупната сума на целиот проект. Тоа значи дека потрошувачката на енергија за пренесување или пумпање на водата низ цевководите може да достигне вредност и до 60% од вкупната потрошувачка на енергија. Затоа, потребна е примена на соодветни методи за оптимизација кои ќе ги задоволуваат претходно спомнатите услови, при што ќе се овозможи намалување на потрошувачката на енергијата и трошоците за пренос и дистрибуција на водата до сите крајни потрошувачи.

Пумпните станици имаат значајна улога кај водоснабдителните системи. Вообичаено тие се состојат од група на електрични пумпи кои имаат различни капацитети, а со тоа и различни параметри на работа, пред сè инсталирана моќност и номинален проток на вода. За пренесување на водата низ водоснабдителниот систем, пумпите можат и најчесто работат во различни комбинации. Сепак, за да се овозможи тоа потребно е да бидат задоволени одредени хидраулични и технички ограничувања, што значи дека во даден временски момент може да се случи да работат дел од пумпите, а дел да бидат исклучени. Значи, за намалување на потрошувачката на енергија во системот, потребно е во даден временски момент да се избере вистинската комбинација на пумпи кои ќе бидат во режим на работа, ќе обезбедат потребен квалитет на услуги за пренос и снабдување со вода и ќе имаат најмало ниво на трошоци за реализација на овие барања.

Овие методи на оптимизација имаат за цел намалување на потрошувачката на енергија во системот, а со тоа и намалување на трошоците на енергија, стекнување на конкурентска предност со примена на енергетско ефикасни уреди и опрема, поздрава и почиста работна околина, поврат на инвестициите и промени во навиките на однесувањето на вработените со цел порационално користење на ресурсите.

### 4.3. Цени на електричната енергија во Македонија

Различни земји имаат различни цени на електричната енергија и различна политика на оданочување. Вообичаено, цената на електричната енергија предизвикува најмногу поплаки од крајните потрошувачи. Високите трошоци за искористена електрична енергија, водоснабдителните системи соодветно ги пренесуваат врз крајните потрошувачи преку соодветно зголемување на цената на испорачаната вода, што исто така резултира со незадоволство кај потрошувачите. Соодветно, секоја енергетска заштеда реализирана во процесот на преработка и испорака на водата, може да резултира со стагнација на порастот на цената на услугите за водоснабдувањето или за нејзино одложување на подолг рок, или пак за добивање на дополнителни финансиски средства со кои водоснабдителниот систем ќе биде во состојба да направи нови инвестиции за подобрување на квалитетот во снабдувањето со вода или зголемување на конзумот на крајни потрошувачи.

Трошоците што се прават при производство, пренос и дистрибуција на електрична енергија имаат влијание врз крајната цена на електричната енергија која ја плаќаат крајните потрошувачи и индустријата. Во Република Македонија, трошоците и инвестициите за производство и набавка на електрична енергија ги контролира Регулаторната комисија за енергетика на Република Македонија.

Преку домашното производство на електрична енергија се задоволува повеќе од половина од вкупните потреби од електрична енергија на земјата. Останатиот дел од потребите се покриваат со увоз на електрична енергија, што исто така влијае на крајната цена. Затоа треба електричната енергија да се користи рационално. *(Енергетска азбука, 2014)*

Според **„Правилникот за цени на електрична енергија за снабдувачот во краен случај“** донесен од страна на Регулаторната комисија за енергетика на Република Македонија, 2012 г. *(Регулаторна комисија за енергетика на РМ, 2015)*, регулирањето на цените на електричната енергија, има за цел:

- обезбедување заштита на домаќинствата и малите потрошувачи од злоупотреба на доминантна позиција на пазарот и неоправдано високи цени;

- обезбедување и унапредување на сигурноста на снабдувањето, како и безбедно, непрекинато и квалитетно снабдување со електрична енергија;
- унапредување на енергетска ефикасност, заштеда на енергија, ефикасно искористување на енергетските ресурси;
- заштита и унапредување на животната средина во вршење на регулирани дејности.

Во Табела 1 се прикажани моменталните цени за електрична енергија за домаќинствата и различните категории на тарифни потрошувачи во Република Македонија приклучени на дистрибутивниот систем.

Табела 1: Цени за електрична енергија за домаќинствата и различните категории на тарифни потрошувачи во РМ кои важат од 1.7.2014 г.  
*Table 1: Electricity prices for the households and the different categories of tariff customers in the Republic of Macedonia valid from 1.7.2014*

Потрошувач / Customer	Цена во денари / Price in denars	Единица мерка / Unit
Домаќинства / Households ЕДНОТАРИФНО мерење-активна електрична енергија / One tariff measuring - active power	4.48	ден/kWh MKD/kWh
Домаќинства / Households ДВОТАРИФНО мерење (висока тарифа)-активна електрична енергија / Two tariff measuring (high tariff) - active power	5.59	ден/kWh MKD/kWh
Домаќинства / Households ДВОТАРИФНО мерење (ниска тарифа)-активна електрична енергија / Two tariff measuring (low tariff) - active power	2.8	ден/kWh MKD/kWh
Потрошувачи од I тарифен степен (висока тарифа)-активна електрична енергија / I tariff level consumers (high tariff) - active power	3.6	ден/kWh MKD/kWh
Потрошувачи од I тарифен степен (ниска тарифа)-активна електрична енергија / I tariff level consumers (low tariff) - active power	1.77	ден/kWh MKD/kWh
Потрошувачи од II тарифен степен (висока тарифа)-активна електрична енергија / II tariff level consumers (high tariff) - active power	8.7	ден/kWh MKD/kWh
Јавно осветлување (една тарифа) / Public lighting (one tariff)	5.61	ден/kWh MKD/kWh
Потрошувачи приклучени на дистрибутивен систем 35kV / Customers connected to the distribution system 35kV	4.12	ден/kWh MKD/kWh

Потрошувачи приклучени на дистрибутивен систем 10(20)kV / <i>Customers connected to the distribution system 10 (20) kV</i>	<b>4.72</b>	<b>ден/kWh MKD/kWh</b>
Потрошувач од I тарифен степен (моќност) / <i>I tariff level consumers (power)</i>	<b>752.41</b>	<b>ден/kW MKD/kWh</b>
<b>Извор:</b> Регулаторна комисија за енергетика на РМ, 2014 <b>Source:</b> Energy Regulatory Commission of the Republic of Macedonia, 2014		

Како што може да се забележи од Табела 1, од 1.7.2014 година постои значително поскапување на цените на електричната енергија во Република Македонија, т.е просечната малопродажна цена на електричната енергија за домаќинствата изнесува 4.48 денари по kWh што во споредба со првата половина од 2014 година претставува зголемување од 3.47%.

Просечната цена на електричната енергија без данокот на додадена вредност за индустријата се движи од 1.77 до 8.7 денари по kWh, во зависност од групата на потрошувачи.

Од 1 јули 2014 година е зголемена и цената за ангажирана моќност кај потрошувачите од I тарифен степен и таа изнесува 752.41 денар по kW. Како што беше спомнато, поголемите индустриски потрошувачи дополнително плаќаат за ангажираната моќност, а бидејќи водоснабдителните системи спаѓаат во оваа група на потрошувачи и минимални намалувања во ангажираната моќност можат да придонесат за големи парични заштеди.

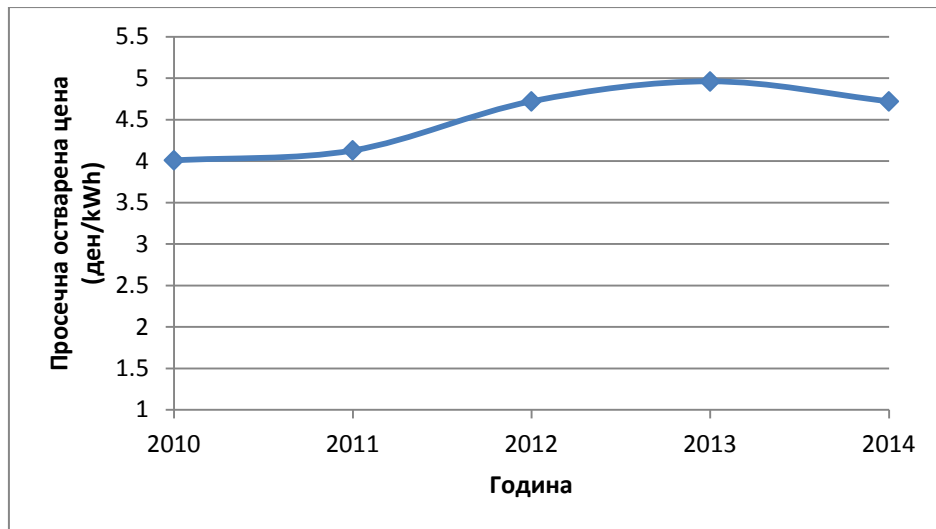
Во Табела 2 е прикажано движењето на просечно остварените цени за електрична енергија кај различни категории тарифни потрошувачи приклучени на дистрибутивниот систем за периодот од 2010 до 2014 година. Од табелата се гледа дека постои значителен пораст на истите, т.е за последните пет години цените на електричната енергија се зголемиле за речиси 45%.

Табела 2: Просечните остварени цени на категориите на тарифни потрошувачи приклучени за период од 2010 до 2014 г.

Table2: Average prices for the categories of connected tariff customers for the period from 2010 to 2014

	Потрошувачи приклучени на дистрибутив ен систем <i>/Consumers connected to the distribution system</i>	2014  (ден/kW h) (MKD/k Wh)	2013  (ден/kW h) (MKD/k Wh)	2012  (ден/kW h) (MKD/k Wh)	2011  (ден/kW h) (MKD/k Wh)	2010  (ден/kW h) (MKD/k Wh)	2014 / 2010  %
1.	35 kV 35 kV	4,12	4,38	4,12	3,58	3,40	+ 21
2.	35 kV директно приклучени 35 kV directly connected	4,86	4,85	4,86	4,19	4,02	+ 21
3.	<b>10(20) kV</b> <b>10(20) kV</b>	<b>4,72</b>	<b>4,96</b>	<b>4,72</b>	<b>4,13</b>	<b>4,01</b>	<b>+ 17</b>
4.	Домаќинства Households	4,48	4,16	3,84	3,33	3,20	+ 40
5.	I тарифен степен I Tariff	6.04	5,79	5,46	4,76	4,59	+ 32
6.	II тарифен степен II Tariff	8,7	8,60	8,28	7,33	7,00	+ 24
7.	Јавно осветлување Public lighting	5,61	5,50	5,32	4,68	4,48	+ 25
Извор: Регулаторна комисија за енергетика на РМ, 2014 Source: Energy Regulatory Commission of the Republic of Macedonia, 2014							

Дел од податоците од Табела 2 се прикажана во графикот претставен на Слика 2, со што уште подобро може да се забележи трендот на брз раст на цените на електричната енергија. Кривата го отсликува порастот на цените на електрична енергија на потрошувачите од **10(20) kV** кои се приклучени на дистрибутивниот систем за периодот од 2010 до 2014 г. Слична крива може да се добие и за цените на електрична енергија и за другите категориите на тарифни потрошувачи, но во сите нив е видлив трендот на значителен пораст на цената на електрична енергија за изминатиот петгодишен период.



Слика 222: Пораст на цените на електричната енергија од 2010 до 2014 г.  
*Figure 2: Rising prices graph for the electricity from 2010 to 2014*

Големата потрошувачка на електрична енергија кај водоснабдителните системи и брзиот раст на цените на енергенсите се **главните причини за примена на оптимизациони методи за зголемување на енергетската ефикасност**. Доколку продолжи ваквиот тренд на растење на цените на електрична енергија, а имајќи го предвид глобалниот недостаток на електрична енергија, овој тренд сигурно ќе продолжи дури може и да се зајакне, методите за оптимизација кои даваат и минимални заштеди на електрична енергија ќе бидат сè повеќе економски исплатливи и сè повеќе и повеќе ќе се имплементираат, не само кај водоснабдителните системи туку и кај сите други потрошувачи на електрична енергија од ваков тип.

## **5. ВОДОСНАБДИТЕЛЕН СИСТЕМ НА ЈП „ПЛАВАЈА“ – РАДОВИШ**

Општина Радовиш е сместена во југоисточниот дел на Република Македонија и го зафаќа северозападниот дел од Радовишко-струмичката Котлина. Општина Радовиш има една градска и дваесет селски населби со вкупно 28 244 жители. Од вкупниот број на населби, само во две населби живеат повеќе од 1 000 жители, а во останатите живеат помеѓу 300 и 1000 жители. Во пет населби живеат помалку од 50 жители.

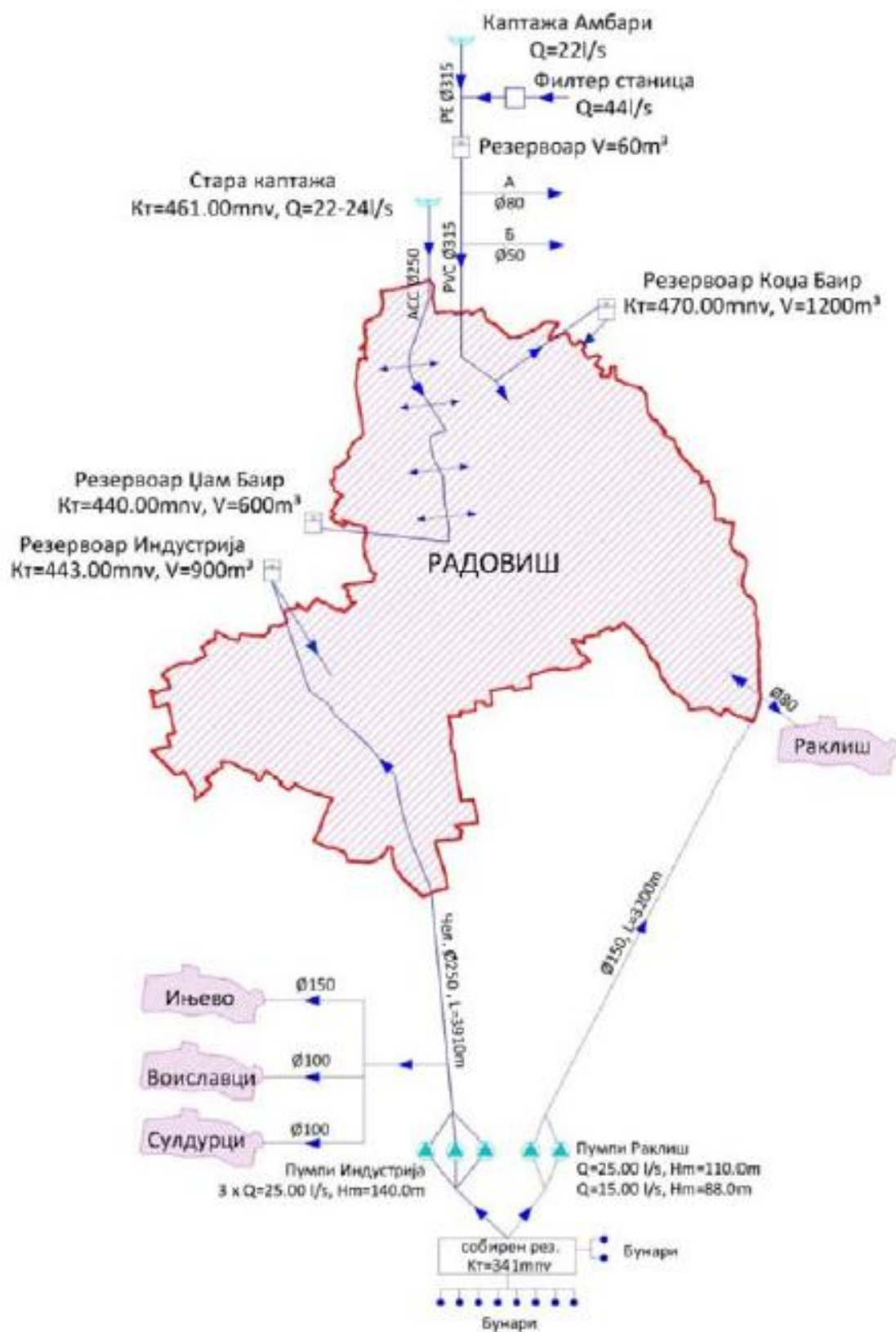
### **5.1. Опис на системот**

Општина Радовиш има покриеност од 75% со водоводна инфраструктура. Најголем дел од оваа покриеност припаѓа на водоснабдителниот систем ЈП „Плаваја“ – Радовиш, а помалку на локалните водоснабдителни системи. Освен градот Радовиш, овој водоснабдителен систем ги опслужува и населените места Раклиш, Сулдурци, Воиславци и Ињево.

Водоснабдувањето во градот се обезбедува по гравитациски пат од каптажа „Амбари“, „Стара каптажа“ и „Филтер станица“, како и со пумпање од двете пумпни станици „Индустија“ и „Куклевица“. Овие две пумпни станици се поврзани со црпен базен кој се полни со вода од десет бунари. Шемата на водоснабдителниот систем на Општина Радовиш е прикажана на Слика 3.

#### **5.1.1. Цевководи**

Водоводната мрежа на градот Радовиш се состои од систем на цевководи во должина од 36 622 m и дијаметри на цевки кои почнуваат од Ф80, па сè до Ф300. 80% од цевките се од ПВЦ, а 20% се од азбест-цемент. Просечната старост на цевките е околу 50 години. Во 2010 г. е зголемена количината на вода која доаѓа по природен пат до 44 l/s. Со овие дополнителни количини на вода, водоснабдувањето во градот Радовиш во зимскиот период е обезбедено преку гравитационен пат. Тоа значи дека пумпите нема потреба да се вклучуваат во зимскиот период, односно истите треба се вклучуваат само во текот на летниот период кога постои поголема потрошувачка на вода и нерационално користење.



Слика 323: Шема на водоснабдителен систем во Радовиш  
Figure 324: The scheme of the water supply system in Radovich



### 5.1.2. Резервоари

За потребите на жителите од градот Радовиш, постојат три резервоари: „Коџа Баир“, „Чам Баир“ и „Индустија“. Нивната запремина опфаќа 2 700 m<sup>3</sup>, а секој од нив е поставен на надморска височина од 470, 440 и 443 m, соодветно.

Резервоарот „Коџа Баир“ се снабдува со вода од каптажа „Амбари“ и „Филтер станицата“ преку цевковод Ф300. Резервоарот „Чам Баир“ (Градски резервоар) се снабдува со вода од „Стара каптажа“ преку цевковод Ф250. Резервоарот „Индустија“ се снабдува со вода преку цевковод Ф250, со должина од L=3910 m од пумпната станица „Индустија“ и со пумпи 3 x 25 l/s. На овој цевковод директно се приклучени и населените места Ињево, Воиславци и Сулдурци. Пумпната станица „Куклевица“ е директно поврзана на градската мрежа преку потисен цевковод Ф150 и од неа се снабдува со вода дел од градот и населбата Раклиш. Во Табела 3 се прикажани вредностите за волуменот на резервоарите, а во Табела 4 протокот од трите каптажи на водоснабдителниот систем на ЈП „Плаваја“ – Радовиш

Табела 3: Резервоари на ВС Радовиш <i>Table 3: Reservoirs for VS Radovish</i>		
Резервоар/ Reservoir	Надморска височина/ Altitude	Волумен/ Volume
Чам Баир/ Cam Bair	440	600 m <sup>3</sup>
Коџа Баир/ Kodza Bair	470	1200 m <sup>3</sup>
Индустија/ Industrija	443	900 m <sup>3</sup>

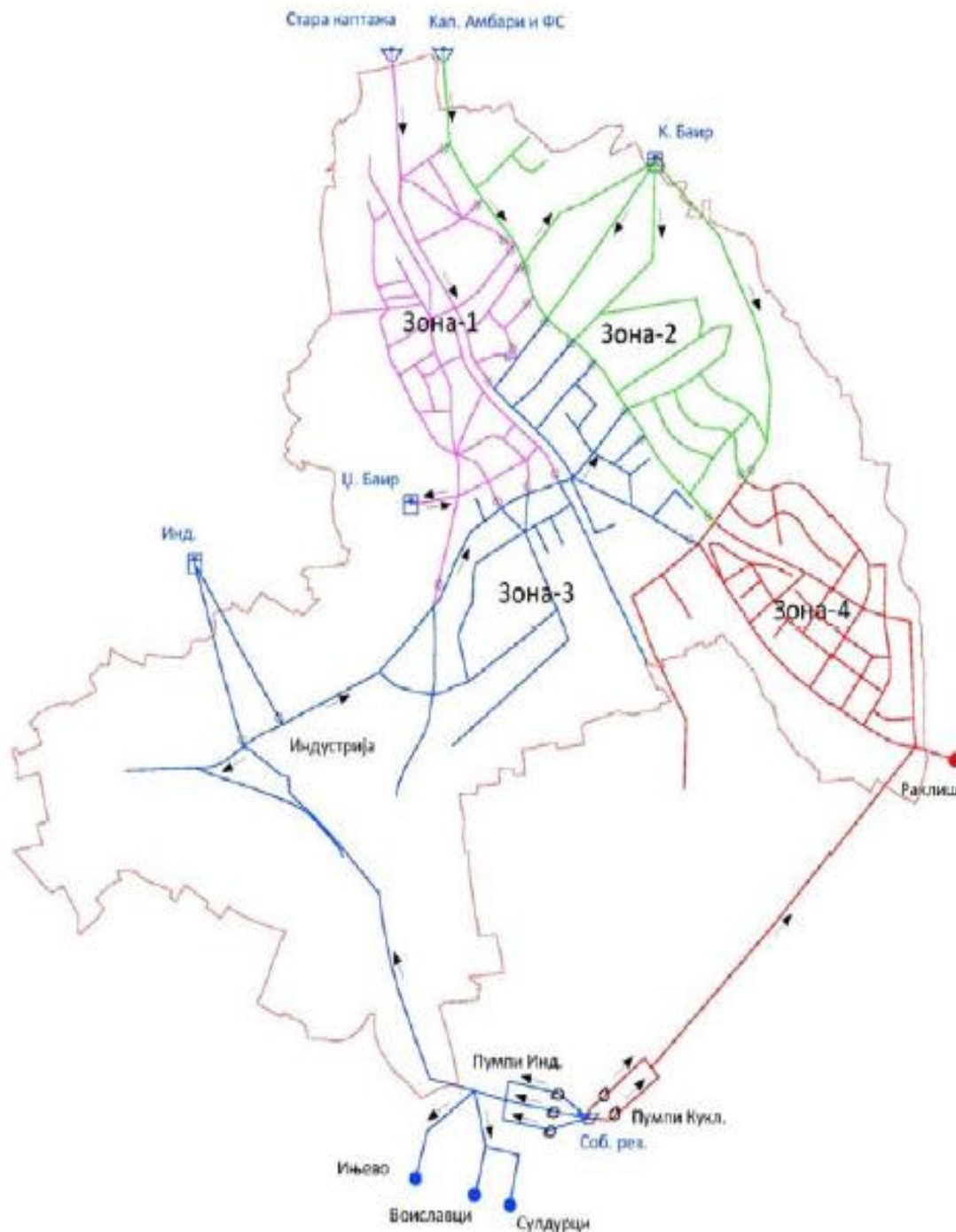
Табела 4: Каптажи на ВС Радовиш <i>Table 4: Catchments for VS Radovish</i>		
Каптажа/ Catchments	Надморска височина/ Altitude	Проток/ Flow
Амбари/ Ambari	461	22 l/s
Филтер стан./ Filter stanica	/	44 l/s
Градски вод/ Gradski vod	/	22-24 l/s

### 5.1.3. Пумпи

Според добиените податоци за ЈП „Плаваја“ – Радовиш дојдено е до сознание дека до почетокот на 2010 година имало потреба од вклучување на пумпите во текот на целата година. Бидејќи во текот на 2010 биле зафатени дополнителни количини на вода, дошло до пораст на протокот на вода која доаѓа по природен пат во системот за дополнителни 44 l/s. Со овие дополнителни количини на вода се овозможило во текот на зимскиот период снабдувањето со вода да се врши по гравитационен пат, односно без употреба

на пумпните станици. Тоа значи дека по 2010 година, постојат услови за примена на два режима на работа на водоснабдителниот систем на ЈП „Плаваја“ – Радовиш, и тоа во зимскиот период постои гравитационо водоснабдување т.е. не постојат водоснабдителни зони, додека во летниот период кога се вклучуваат и пумпите, водоснабдувањето се врши во четири водоснабдителни зони.

На Слика 4 е прикажано зонирањето на Општина Радовиш во текот на летниот период.



Слика 425: Шема на системот на ЈП „Плаваја“ со четирите зони  
 Figure 426: The scheme of the PC Plavaja system with the four zones

Според ваквата зонска поделеност на градот, Зона 1 се снабдува со вода од резервоарот „Џам Баир“. Од резервоар „Коџа Баир“ со вода се снабдува и Зона 2, а додека Зона 3 и Зона 4 се водоснабдуваат од пумпните станици „Индустрија“ и „Куклевица“ кои пумпаат директно во дистрибутивната

водоводна мрежа без резервоарски простор (*резервоарот „Индустија“ не се употребува*).

Во летниот период голем проблем претставува нерационалното трошење на водата, а освен тоа и нелегалните приклучоци кои доведуваат до недостиг на вода во одредени зони од градот.

Пумпната станица за водоводниот систем е она што претставува срцето за човечкиот организам, т.е главна цел на пумпната станица е пумпање на водата низ цевководите со цел обезбедување на одреден притисок на вода во системот. Повеќето од пумпите кои се користат кај водоснабдителните системи се од центрифугален тип и тие се пуштаат во работа со помош на електрични мотори (Reynolds, Bunn, 2010). Тие вообичаено имаат комплексни и уникатни работни карактеристики, пред сè карактеристика на зависноста на висината на подигнување на водата во функција од проток на вода низ пумпата, како и соодветните криви на енергетска ефикасност. Дополнително, секоја пумпа е дизајнирана и произведена со цел да работи најефикасно во специфична **„работна точка“**. Работната точка (*duty point*) е точка во која пумпата го произведува потребниот проток на вода ( $Q$ ) за потребната висина на воден столб ( $H$ ) на која треба да се искачи таа количина на вода.

Од анализата на перформансите на соодветната пумпа како и нејзиното работење се добиваат кривите за карактеристиките на истата. Вообичаено овие криви се дадени од страна на производителот на соодветната пумпа.

Кај водоснабдителниот систем на градот Радовиш постојат две пумпни станици: ПС „Индустија“ и ПС „Куклевица“ (Слика 5). Секоја од овие пумпни станици се наоѓа на надморска височина од 341 m.



Слика 5: Пумпни станици на ЈП „Плаваја“ - Радовиш  
 (1) ПС Индустија и (2) ПС Куклевица  
*Figure 5: Pump stations of PC Plavaja - Radovish  
 (1) PS Industrija and (2) PS Kuklevica.*

Карактеристиките за секоја од пумпните станици се дадени во Табела 5.

Табела 5: Карактеристики на пумпните станици на ЈП Плаваја – Радовиш  
 Table 5: Characteristics of the pump stations of PC Plavaja – Radovish

Пумпна станица/ <i>Pump station</i>	Надморска височина/ <i>Altitude</i>	Карактеристики/ <i>Characteristics</i>
ПС Индустија/ <i>PS Industrija</i>	341 m	2x25 l/s, $H_m=125$ m 1x15 l/s, $H_m=88$ m
ПС Куклевица/ <i>PS Kuklevica</i>	341 m	1x25 l/s, $H_m=110$ m 1x15 l/s, $H_m=88$ m

Од Табелата 5 може да се забележи дека пумпната станица „Индустија“ се состои од 3 пумпи, а пумпната станица „Куклевица“ се состои до 2 пумпи. Во ЈП „Плаваја“ – Радовиш, се користат два типа на пумпи од производителот LOWARA.

LOWARA е италијански производител на пумпи кој обезбедува ефикасни решенија за водоснабдителните системи во најразлични средини. Овој производител е познат по своите висококвалитетни, сигурни и ефикасни пумпни системи со максимална ефикасност кои најдобро ги задоволуваат потребите на корисниците. Пумпите на LOWARA се направени од фабрикуван и нерѓосувачки челик, кој не овозможува контаминирање (*загадување*) на водата. Тие се направени со технологија на ласерско заварување, што значи

дека се „отпорни“ на штетни хемикалии, односно немаат никакво штетно влијание врз животната средина (Lowara, 2014).

Вообичаено, LOWARA пумпите се применуваат во системи во кои се користи вода која не содржи суспендирани материи и тоа во градежниот, индустрискиот и земјоделескиот сектор. Освен тоа, тие се користат и за зголемување на притисокот на водата кај водоснабдителните системи, системите за наводнување и сл, во постројките за третирање на водата, кај системите во кои се врши циркулирање на топла и ладна вода за греење и ладење, кај системите за канализација и сл.

Кај водоснабдителниот систем на град Радовиш се применуваат ваков тип на пумпи со цел зголемување на притисокот на водата во текот на летниот период. За таа цел се користат пумпите Lowara SV6008 F220 и Lowara SV9206 F450T. Кај ПС „Куклевица“ постои една Lowara SV6008 F220 пумпа и една Lowara SV9206 F450T пумпа, а кај ПС „Индустија“ постојат две Lowara SV9206 F450T пумпи и една Lowara SV6008 F220 пумпа. Карактеристиките на секоја од овие пумпи се дадени во продолжение.

### **Lowara SV6008 F220T**

Lowara SV6008 F220 пумпата припаѓа во групата на вертикални центрифугални пумпи. Овој тип на пумпи, кој се карактеризира со голема сигурност и технолошка развиеност, е способен да ги задоволи потребите на голем број корисници.

Главни карактеристики на Lowara SV6008 F220 се (Lowara, 2014):

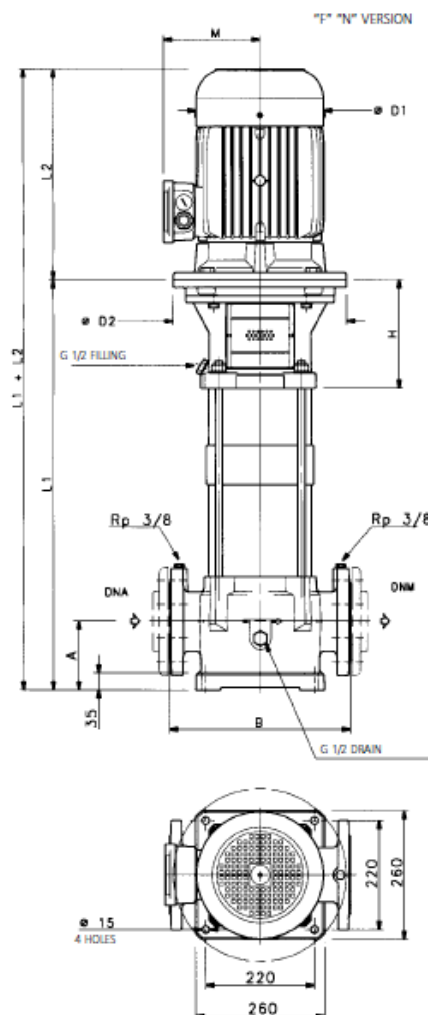
- испорака на вода од 24 до 72 m<sup>3</sup>/h (60 m<sup>3</sup>/h номинален капацитет);
- максимален работен притисок од 16 bar;
- висока хидраулична ефикасност;
- максимална висина: 247m;
- континуирана работа;
- можна температура на течноста која се пумпа од -20°C до +120°C;
- IP55 заштита.

Во Табелата 6 се дадени електричните спецификации за Lowara SV6008 F220T пумпата. Податоците во табелата се преземени од официјалната Интернет страница на производителот на пумпите LOWARA.

Табела 6: Електрични спецификации за Lowara SV6008 F220T  
 Table 6: Electric specifications Lowara SV6008 F220T

Тип на пумпа/ Pump type	Моќност на моторот/ Motor power		Влезна струја во A/ Input current in A			Is/In
			Три фази / Three stages			
		Големина/ Size	$\Delta$ 220-240 V	Y 380-415 V	$\Delta$ 380-415 V	
SV6008 F220T	22	180R	-	-	40,3	8.61

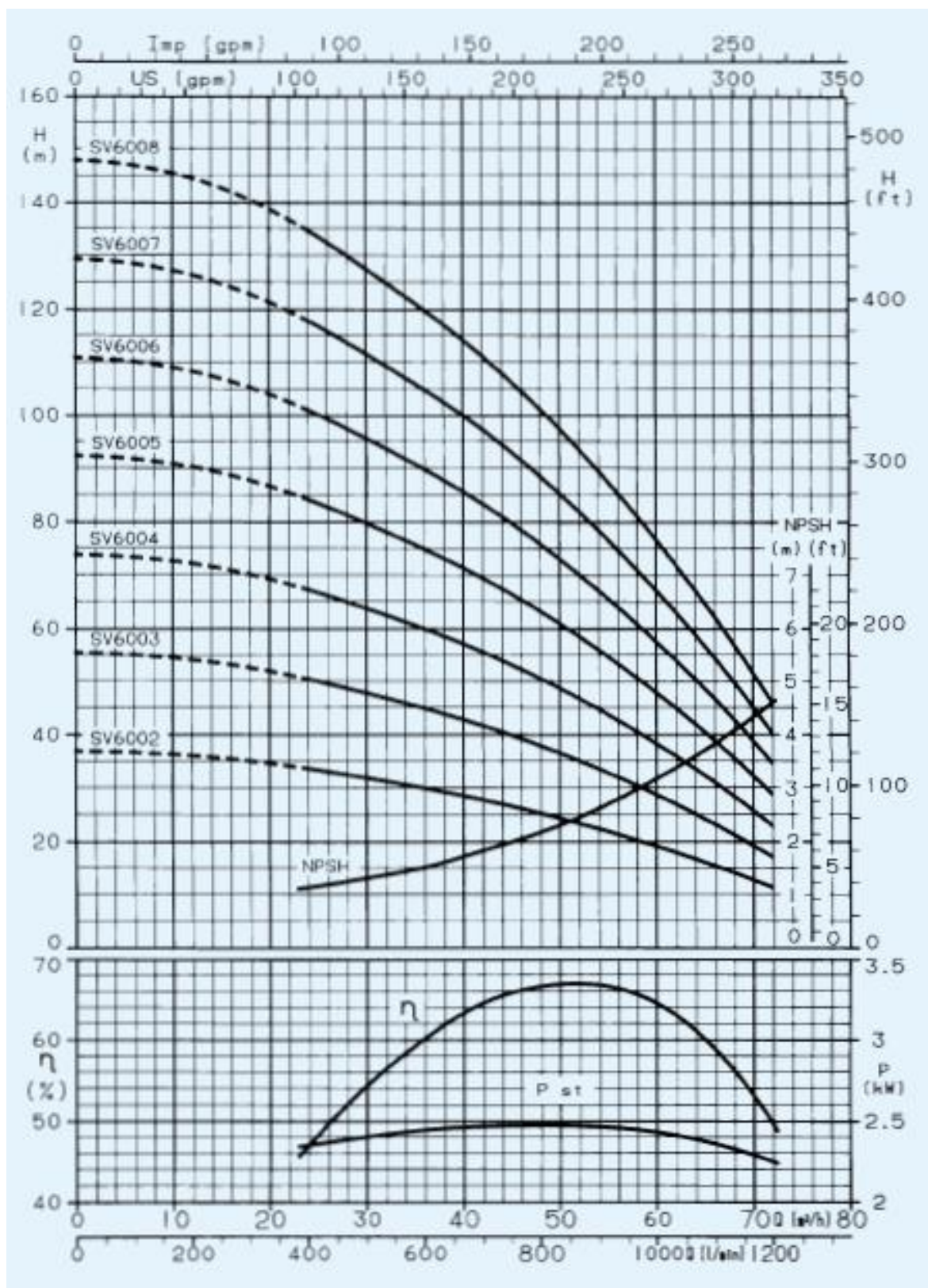
На Слика 6 се дадени димензиите, а на Слика 7 работната карактеристика на Lowara SV6008 F220T пумпата.



Слика 6: Димензии на LOWARA SV6008F220 F450T пумпа  
 Figure 6: Dimensions of LOWARA SV6008F220 F450T pump

Извор: Lowara, Excellence in Water Technology, 2014  
 Source: Lowara, Excellence in Water Technology, 2014





Слика 7: Работна карактеристика на на LOWARA SV6008F220 F450T пумпа  
 Figure 7: Operating characteristic of the LOWARA SV6008F220 F450T pump

Извор: Lowara, Excellence in Water Technology, 2014

Source: Lowara, Excellence in Water Technology, 2014



### **Lowara SV9206 F450T**

Lowara SV9206 F450T пумпата припаѓа во групата на вертикални центрифугални пумпи кои се поврзани со стандарден мотор.

Главни карактеристики на Lowara SV9206 F450T се (Lowara, 2014):

- испорака на вода до 120 m<sup>3</sup>/h;
- максимална висина 330 m;
- можна температура на течноста која се пумпа од -30°C до +120°C;
- максимален работен притисок од 25 bar;
- висока хидраулична ефикасност;
- континуирана работа;
- IP55 заштита.

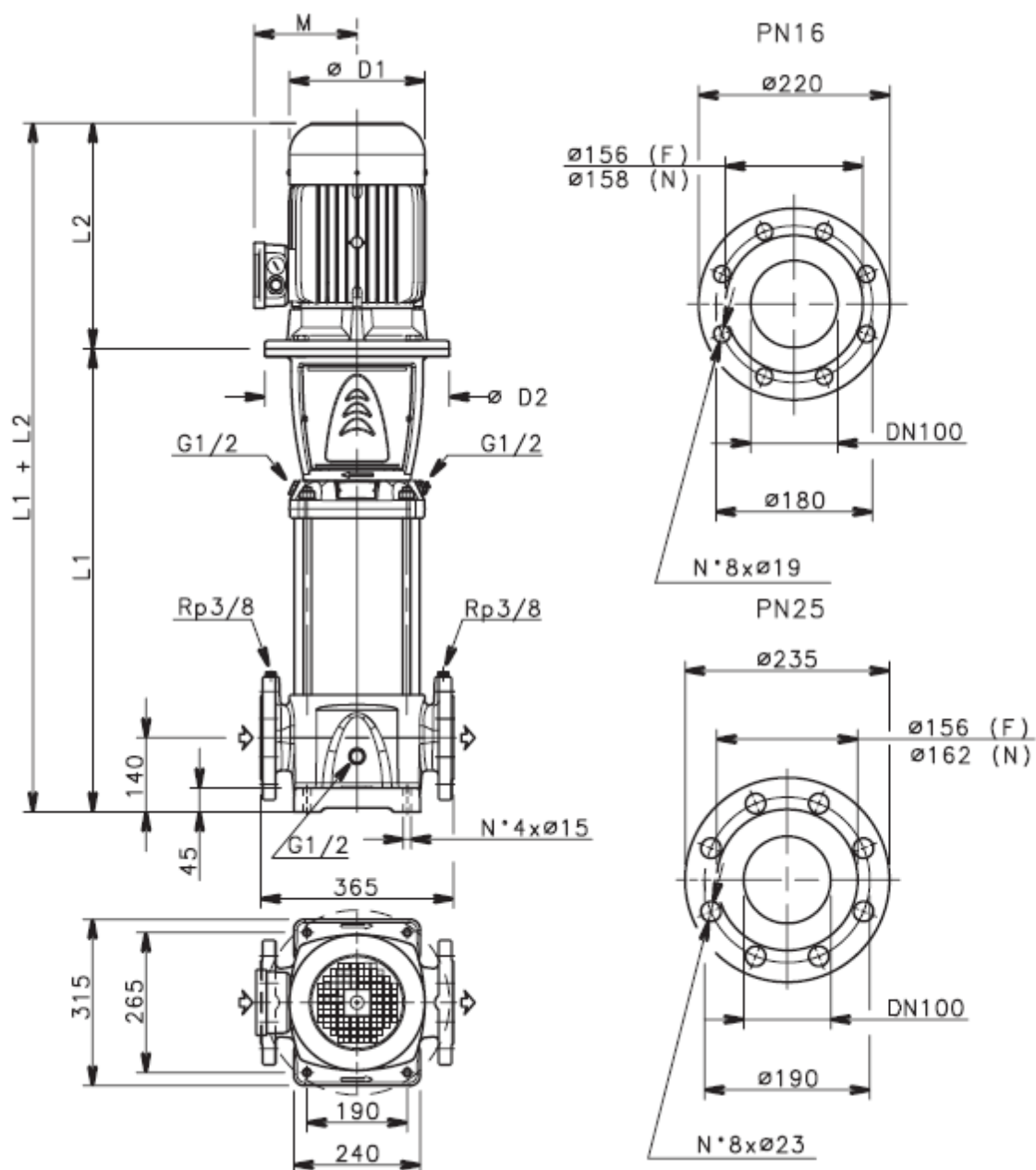
Во Табела 7 се дадени електричните спецификации за Lowara SV9206 F450T пумпата. Податоците во табелите се преземени од официјалната Интернет страница на производителот на пумпите LOWARA.

Табела 7: Електрични спецификации за Lowara SV9206 F450T  
*Table 7: Electric specifications for Lowara SV9206 F450T*

Тип на пумпа/ Pump type	Моќност на моторот/ Motor power		Влезна струја во A/ Input current in A			Is/In  400V
			Три фази/ Three stages			
	kW	Големина/ Size	Δ 220-240 V	Y 380-415 V	Δ 380-415 V	
SV9206 F450T	45	225	-	-	-	-

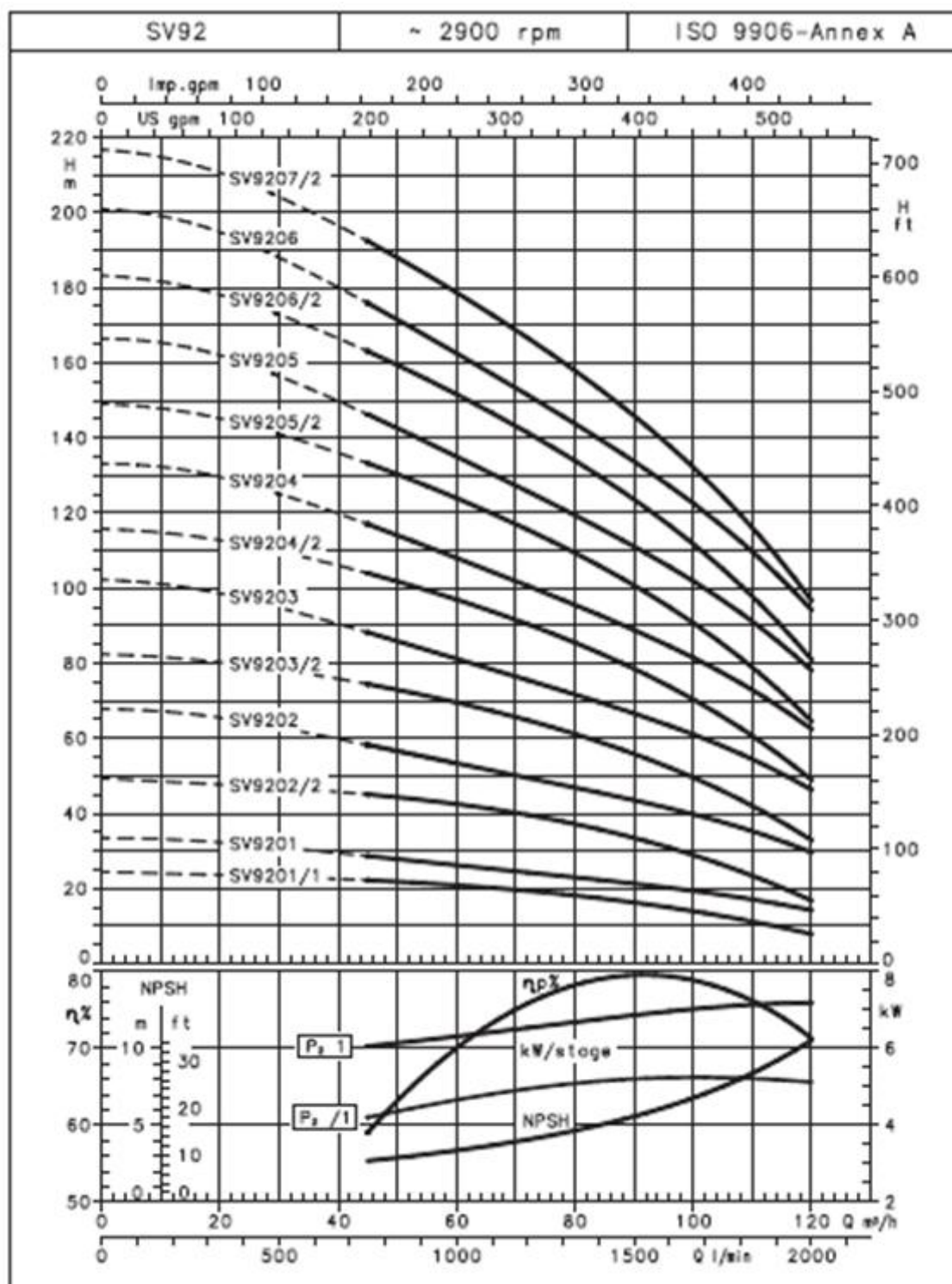
Според натписните плочки на пумпите, дојдено е до сознание дека трите големи пумпи (Lowara SV9206 F450T) се набавени во 2009 година, а двете мали (Lowara SV6008 F220) во 2010 година. **Пумпите не се опремени со фреквентна регулација, при што во ноќните часови кога е минимална потрошувачката доаѓа до големи притисоци кои предизвикуваат чести дефекти во мрежата.**

На Слика 8 се дадени димензиите, а на Слика 9 работната карактеристика на Lowara SV9206 F450T пумпата.



Слика 8: Димензии на LOWARA SV9206 F450T пумпа  
Figure 8: Dimensions of LOWARA SV9206 F450T pump

Извор: Lowara, Excellence in Water Technology, 2014  
Source: Lowara, Excellence in Water Technology, 2014



Слика 9: Работни карактеристики на LOWARA SV9206 F450T  
 Figure 9: Operating characteristics LOWARA SV9206 F450T

Извор: Lowara, Excellence in Water Technology, 2014  
 Source: Lowara, Excellence in Water Technology, 2014

#### **5.1.4. Мотори**

Во водоснабдителниот систем на Општина Радовиш, пумпите се погонуваат со електромотори од два различни производители. Станува збор за 2 електромотори од производителот Leroy Somer за двете пумпи Lowara SV6008 F220 и 3 електромотори од производителот Marelli Motori за трите пумпи Lowara SV9206 F450T.

##### ***Leroy Somer LS 180 MT - T***

Leroy Somer LS 180 MT-T е целосно оклопен трифазен асинхронен мотор и е производ на еден од најголемите производители на мотори во светот Leroy Somer, кој користи најразвиени технологии во автоматизацијата, специјално одбрани материјали како и највисоко ниво на контрола на квалитетот на производите. Главни карактеристики на Leroy Somer LS 180 MT-T се (*Leroy Somer, 2007*):

- напон на приклучување: 380 V
- фреквенција: 50 Hz
- активна моќност: 22 kW
- фактор на моќност при номинално оптоварување: 0,89
- струја при номинално оптоварување: 42 A
- заштита: I55.

##### ***Marelli Motori***

Marelli Motori MA A4C 225 M2 е трифазен кафезен асинхронен мотор и е производ на италијанскиот производител на мотори Marelli Motori. Главни карактеристики на Marelli Motori MA A4C 225 M2 се (*Marelli Motori, 2010*):

- напон на приклучување: 380 V
- фреквенција: 50 Hz
- активна моќност: 45 kW
- фактор на моќност при номинално оптоварување: 0,88
- струја при номинално оптоварување: 80A.

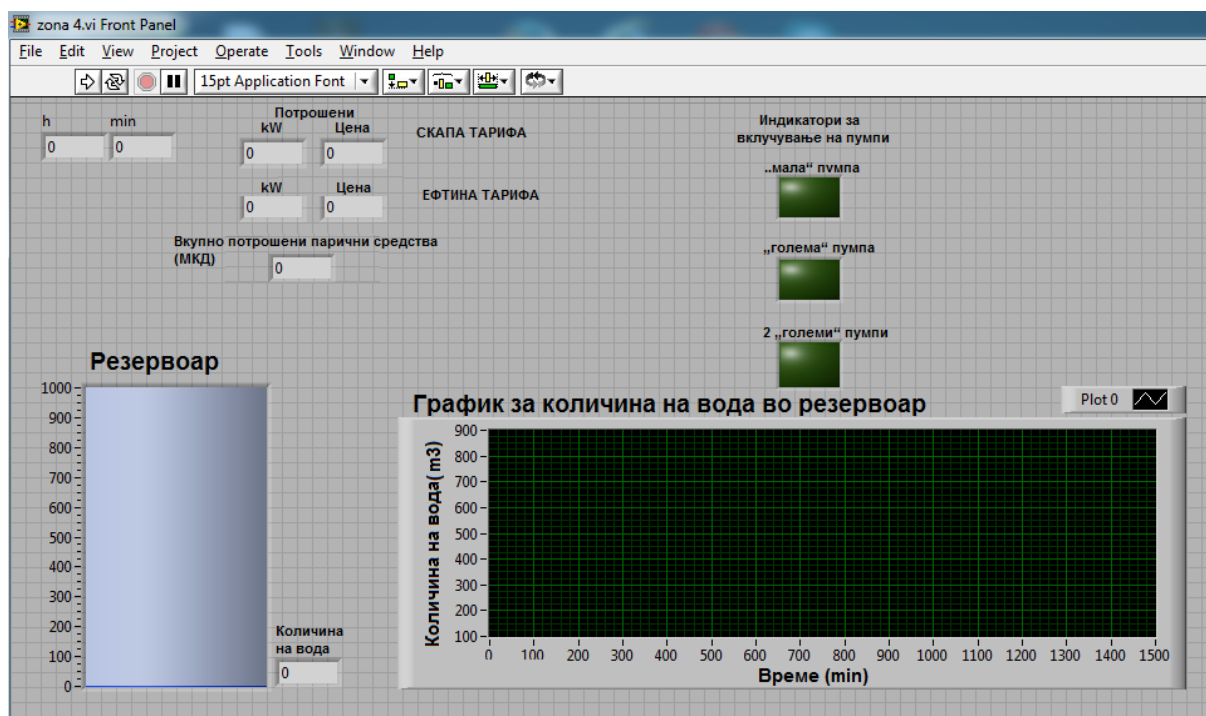
## 6. МЕТОДИ НА ИСТРАЖУВАЧКАТА РАБОТА

### 6.1. Анализа на моменталната состојба на системот на ЈП „Плаваја“ – Радовиш

Просечната дневна потрошувачка на вода во домаќинствата во развиените земји (за пиење, готвење, миење садови, туширање, перење алишта, чистење и сл.) по жител се движи во границите помеѓу 100 и 200 l дневно. (Vodovodj, 2010).

Потрошувачката на вода претставува променлива величина. Нејзината вредност варира во годишните, месечните, дневните и часовните биланси на потрошувачка. Променливите вредности за потрошувачката на вода во годишните биланси, воглавно потекнуваат од климатските услови, режимите на работа на индустриските погони, бројот на жители, стандардот на населението и сл. Вообичаено поголема е потрошувачката на вода во летниот период во споредба со зимскиот период. (Vodovodj, 2010).

За да се направи анализа на карактеристиките на водоснабдителниот систем на ЈП „Плаваја“ – Радовиш направена е реална симулација со помош на програмскиот пакет LabView на National Instruments. Интерфејсот е прикажан на Слика 10.

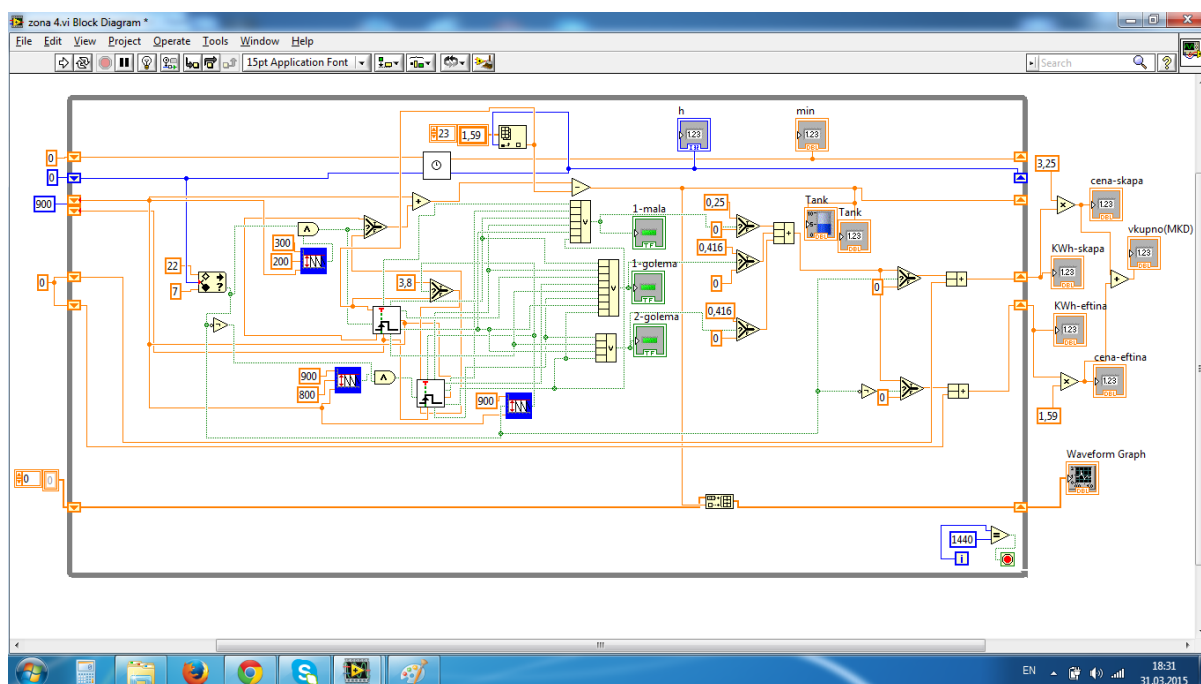


Слика 10: Интерфејс на системот за управување со нивото на вода во резервоарот

Figure 10: The Interface of the reservoir water level management system.

На интерфејсот е претставен резервоарот како и графикот на кој по извршување на симулацијата се прикажува состојбата и промените на количината на вода во резервоарот. Дополнително, се прикажани потрошената електрична енергија за пумпање на водата во резервоарот и потрошените парични средства, а освен тоа со индикаторите за пумпите се гледа во кој временски момент која од пумпите во пумпната станица „Индустија“ е вклучена.

Блок дијаграмот во LabView е прикажан на Слика 11.



Слика 11: Блок дијаграм на системот во LabView  
Figure 11: Block diagram of the system in LabView.

### Проток

Потрошувачката на вода во Општината во 2010 г. во зимскиот период изнесувала 89 l/s, додека во летниот период 122 l/s. Системот се снабдувал гравитационо и со пумпање сè до четвртиот квартал кога бил пуштен во употреба и вториот филтер. Во четвртиот квартал на 2010 г. просечната потрошувачка изнесувала 88l/s, која комплетно била обезбедена по гравитационен пат. Во овој период имало намален број на дефекти, што всушност било резултат на неработењето на пумпните станици. Во Табела 8 се прикажани средните протоци за 2010 г.

Табела 8: Средни протоци за 2010 година  
*Table 8: Average flows for 2010 year*

Период/ Period	Филтри/ Filters (l/s)	Каптажа Амбари/ Catchment Ambari (l/s)	Стара каптажа /Old Catch. (l/s)	Пумпи Куклевица/ Kuklevica Pump (l/s)	Пумпи Индустија/ Industrija Pump (l/s)	Вк. Вода/ Total water (l/s)
1-9 ч. летен 1-9 h sum.	16	18.00	18.00	20.00	50.00	122.0
1-9ч. зим. 1-9h. winter	20	22.00	22.00	0.00	25.00	89.00
9-12ч. 9-12 h.	44	22.00	22.00	0.00	0.00	88.00

Податоците во табелата се добиени за двата случаи кога пумпите не работат т.е кога целиот систем се водоснабдува гравитационо и кога пумпите се вклучени.

### **Притисок**

Кај водоснабдителниот систем на Општина Радовиш постои голема разлика во притисоците во летниот и зимскиот период, што се должи на различниот режим на работа на системот (ЈП „Плаваја“, јануари 2014). Во случај кога водоснабдувањето е по гравитационен пат, т.е. во зимскиот период, вредностите за притисоците во ноќните часови т.е периодот со минимална потрошувачка достигнуваат до 8 bar во најниските делови од градот, односно 5 - 6 bar во поголемиот дел од градот. Во летниот период пак при минимална потрошувачка во ноќните часови, максималните притисоци во зоните кои ги снабдуваат пумпните станици „Индустија“ и „Куклевица“ достигнуваат вредности и над 10 bar, додека минималните и под 2 bar во одредени делови од градот.

Во Табела 9 се прикажани вредностите за притисоците за двата режими на работа на системот за 2010 г.

Табела 9: Вредности за притисоците за различните режими на работа за 2010г.  
*Table 9: Values for the pressures for various modes of work for 2010*

	<b>Зимски период/ Winter period</b>	<b>Летен период/ Summer period</b>
<b>Максимални вредности за притисок/ Maximum values for the pressure</b>	<b>8 bar</b>	<b>10 bar*</b>
<b>Минимални вредности за притисок/ Minimum values for the pressure</b>		<b>&lt; 2 bar</b>
* Вредноста се однесува за зоните кои се снабдуваат преку пумпните станици * The value are referring to the areas which are supplied by the pump stations		

Минималните прифатливи вредности за притисок во урбаните средини треба да биде помеѓу 5 и 6 bar (*Tjandraatmadja, 2011*), што значи дека притисокот на вода за жителите на Општина Радовиш во летниот период е под вообичаените стандардизирани вредности за квалитет на водоснабдување. Ова е уште еден показател дека освен тоа што треба да се зголеми енергетската ефикасност на системот, потребно е да се подобри и квалитетот на услугите за водоснабдување.

### ***Количина на вода во резервоарите***

Во поглавје 5.1.2 беше спомнато дека за водоснабдителните потреби на жителите од Општина Радовиш се користат три резервоари чија запремина опфаќа 2 700 m<sup>3</sup>.

Сепак, резервоарот „Индустија“ кој би требало да се снабдува со вода од пумпната станица „Индустија“ е надвор од употреба, т.е пумпната станица е директно поврзана на градската мрежа. Постои иста ситуација и со другата пумпна станица „Куклевица“, т.е и оваа пумпна станица е директно поврзана на градската мрежа преку потисен цевковод при што преку неа со вода се снабдува дел од градот Радовиш и населбата Раклиш.

Во Табела 10 се прикажани вредностите за волуменот на трите резервоари:



Табела 10: Волумен на резервоарите  
Table 10: Volume of the reservoirs

Резервоар/Reservoir	Волумен/Volume
Чам Баир / Cham Bair	600 m <sup>3</sup>
Коџа Баир/ Kodza Bair	1200 m <sup>3</sup>
Индустирија/ Industrija	900 m <sup>3</sup>
<b>Извор:</b> Снабдување со вода за пиење и одведување на урбани и отпадни води во Општина Радовиш 2013 година – ЈП “Плаваја” јануари 2014 година <b>Source:</b> <i>Suppling with drinking water and sanitation for the urban wastewater for Municipality of Radovish 2013 year - PC Plavaja, January 2014</i>	

### Потреби од вода

Податоците за среднодневната потрошувачка на вода, максималната дневна потрошувачка, минималната дневна потрошувачка, максималната часовна потрошувачка и количината на вода за гаснење на пожар за 2013 година се дадени во продолжение.

Среднодневната потрошувачка и специфичните потреби за вода за жителите на разгледуваните населени места во Општина Радовиш за 2013 година, се прикажани во Табелите 11 и 12.

Табела 11: Потребни количини за водоснабдување (m<sup>3</sup>/ден)  
Table 11: Required quantities of water (m<sup>3</sup>/day)

Радовиш / Radovish	Воиславци/ Voislavci	Ињево / Injevo	Раклиш/ Raklish	Сулдурци/ Suldurci	Индустирија/ Industrija	Вк./ Total
4570	211	431	151	61	864	5424
<b>Извор:</b> Снабдување со вода за пиење и одведување на урбани и отпадни води во Општина Радовиш 2013 година – ЈП “Плаваја” јануари 2014 година <b>Source:</b> <i>Suppling with drinking water and sanitation for the urban wastewater for Municipality of Radovish 2013 year - PC Plavaja, January 2014</i>						

Табела 12: Среднодневна потрошувачка (l/s)  
Table 12: Average day consumption (l/s)

Радовиш/ Radovish	Воиславци/ Voislavci	Ињево / Injevo	Раклиш/ Raklish	Сулдурци/ Suldurci	Индустирија / Industrija	Вк./ Total
52.89	2.45	4.99	1.75	0.70	10.00	72.781
<b>Извор:</b> Снабдување со вода за пиење и одведување на урбани и отпадни води во Општина Радовиш 2013 година – ЈП “Плаваја” јануари 2014 година <b>Source:</b> <i>Suppling with drinking water and sanitation for the urban wastewater for Municipality of Radovish 2013 year - PC Plavaja, January 2014</i>						

Дневната потрошувачка на вода се менува во секоја секунда. Тоа значи дека наместо анализите да се вршат со користење на моменталните вредности за потрошувачка на вода, тие треба да бидат реализирани со користење на

вредностите за минималната и максималната дневна потрошувачка на вода. Вредностите за максималната дневна потрошувачка на вода изразена во l/s за населените места во Општина Радовиш за 2013 година се прикажани во Табела 13.

Табела 13: Максимална дневна потрошувачка на вода  $q_{\max}/\text{den}$  (l/s)  
*Table 13: Maximum daily water consumption  $q_{\max}/\text{day}$  (l/s)*

Радовиш/ Radovich	Воиславци/ Voislavci	Ињево / Injevo	Раклиш/ Raklish	Сулдурци/ Suldurci	Индустија/ / Industrija	Вк./ Total
68.76	3.91	7.98	2.80	1.12	10.00	94.580
<b>Извор:</b> Снабдување со вода за пиење и одведување на урбани и отпадни води во Општина Радовиш 2013 година – ЈП “Плаваја” јануари 2014 година <b>Source:</b> <i>Suppling with drinking water and sanitation for the urban wastewater for Municipality of Radovich 2013 year - PC Plavaja, January 2014</i>						

Вредностите за минималната дневна потрошувачка на вода изразена во l/s за населените места во Општина Радовиш за 2013 година се прикажани во Табела 14.

Табела14: Минимална дневна потрошувачка на вода  $q_{\min}/\text{den}$  (l/s)  
*Table 14: Minimum daily water consumption  $q_{\min}/\text{day}$  (l/s)*

Радовиш/ Radovich	Воиславци/ Voislavci	Ињево / Injevo	Раклиш/ Raklish	Сулдурци/ Suldurci	Индустија/ Industrija	Вк./ Total
42.32	1.47	2.99	1.05	0.42	10.00	58.247
<b>Извор:</b> Снабдување со вода за пиење и одведување на урбани и отпадни води во Општина Радовиш 2013 година – ЈП “Плаваја” јануари 2014 година <b>Source:</b> <i>Suppling with drinking water and sanitation for the urban wastewater for Municipality of Radovich 2013 year - PC Plavaja, January 2014</i>						

Вредностите за максималната часовна потрошувачка на вода за населените места во Општина Радовиш за 2013 г. се прикажани во Табела 15.

Табела 15: Максимална часова потрошувачка на вода  $q_{\max}/\text{h}$  (l/s)  
*Table 15: Maximum hourly water consumption  $q_{\max}/\text{h}$  (l/s)*

Радовиш/ Radovich	Воиславци/ Voislavci	Ињево / Injevo	Раклиш/ Raklish	Сулдурци/ Suldurci	Индустија/ / Industrija	Вк./ Total
103.15	7.82	15.96	5.60	2.24	10.00	144.8
<b>Извор:</b> Снабдување со вода за пиење и одведување на урбани и отпадни води во Општина Радовиш 2013 година – ЈП “Плаваја” јануари 2014 година <b>Source:</b> <i>Suppling with drinking water and sanitation for the urban wastewater for Municipality of Radovich 2013 year - PC Plavaja, January 2014</i>						

## **6.2. Референтна годишна потрошувачка на електрична енергија во ЈП „Плаваја“ – Радовиш**

За потребите на магистерскиот труд е извршена анализа на трошоците за електрична енергија за последните 6 години со цел да се определат методите за поголема енергетска ефикасност на системот.

Со добиените податоци за енергетската потрошувачка кај водоснабдителниот систем на Општина Радовиш е направена општа констатација за состојбата на системот, односно одредено е колкав дел од трошоците отпаѓаат на потрошена електрична енергија, а колкав дел отпаѓаат на трошоци за ангажирана електрична моќност.

Во Табелите 16 – 21 сумирани се износите за потрошена електрична енергија (*активна и реактивна*), како и ангажирана моќност за сите месеци почнувајќи од 2008 па сè до 2013 година, и тоа и за евтина (ниска или ноќна) и за скапа (висока или дневна) тарифа.

Табела 16: Потрошена електрична енергија и моќност / Table 16: Electricity and power consumption

2008																		
Месец	АС	Цена - АС	Износ - АС	АЕ	Цена - АЕ	Износ - АЕ	РС	РС-(АС*0.33)	Цена - РС	Износ - РС	РЕ	РЕ-(АЕ*0.33)	Цена - РЕ	Износ - РЕ	МГ	Цена - МГ	Износ - МГ	ВКУПНО
Јануари	32934	2.0800	68502.72	40936	1.0200	41754.72	5640	-5228.22	0.460	0.00	5928	-7580.88	0.2800	0.00	147	494.100	72632.70	182890.14
Февруари	25410	2.0800	52852.80	33141	1.0200	33803.82	407	-7978.3	0.460	0.00	778	-10158.53	0.2800	0.00	135	494.100	66703.50	153360.12
Март	28078	2.0800	58402.24	36576	1.0200	37307.52	1837	-7428.74	0.460	0.00	1895	-10175.08	0.2800	0.00	133	494.100	65715.30	161425.06
Април	33419	2.0800	69511.52	37303	1.0200	38049.06	5323	-5705.27	0.460	0.00	4077	-8232.99	0.2800	0.00	188	494.100	92890.80	200451.38
Мај	47236	2.0800	98250.88	48624	1.0200	49596.48	13776	-1811.88	0.460	0.00	10282	-5763.92	0.2800	0.00	217	494.100	107219.70	255067.06
Јуни	56459	2.0800	117434.72	63156	1.0200	64419.12	22566	3934.53	0.460	1809.88	22344	1502.52	0.2800	420.71	220	494.100	108702.00	292786.43
Јули	67675	2.0800	140764.00	69681	1.0200	71074.62	30716	8383.25	0.460	3856.30	29099	6104.27	0.2800	1709.20	220	494.100	108702.00	326106.11
Август	66697	2.0800	138729.76	79567	1.0200	81158.34	26745	4734.99	0.460	2178.10	29670	3412.89	0.2800	955.61	220	494.100	108702.00	331723.80
Септември	62378	2.0800	129746.24	65882	1.0200	67199.64	24814	4229.26	0.460	1945.46	23223	1481.94	0.2800	414.94	218	494.100	107713.80	307020.08
Октомври	53587	2.0800	111460.96	58382	1.0200	59549.64	16521	-1162.71	0.460	0.00	14945	-4321.06	0.2800	0.00	190	494.100	93879.00	264889.60
Ноември	39415	2.3600	93019.40	50768	1.1600	58890.88	10775	-2231.95	0.520	0.00	12250	-4503.44	0.3200	0.00	168	561.350	94306.80	246217.08
Декември	31883	2.3600	75243.88	40867	1.1600	47405.72	2747	-7774.39	0.520	0.00	3077	-10409.11	0.3200	0.00	168	561.350	94306.80	216956.40

Табела 17: Потрошена електрична енергија и моќност / Table 17: Electricity and power consumption

2009																		
Месец	АС	Цена - АС	Износ - АС	АЕ	Цена - АЕ	Износ - АЕ	РС	РС- (АС*0.33)	Цена - РС	Износ - РС	РЕ	РЕ- (АЕ*0.33)	Цена - РЕ	Износ - РЕ	МГ	Цена - МГ	Износ - МГ	ВКУПНО
Јануари	41176	2.3600	97175.36	46288	1.1600	53694.08	14248	659.92	0.520	343.16	14290	-985.04	0.3200	0.00	170	561.350	95429.50	246642.10
Февруари	33632	2.3600	79371.52	37140	1.1600	43082.40	6070	-5028.56	0.520	0.00	3815	-8441.2	0.3200	0.00	170	561.350	95429.50	217883.42
Март	42112	2.3600	99384.32	47440	1.1600	55030.40	13753	-143.96	0.520	0.00	15279	-376.2	0.3200	0.00	171	561.350	95990.85	250405.57
Април	38023	2.3600	89734.28	39376	1.1600	45676.16	5296	-7251.59	0.520	0.00	3573	-9421.08	0.3200	0.00	158	561.350	88693.30	224103.74
Мај	44100	2.3600	104076.00	47118	1.1600	54656.88	8349	-6204	0.520	0.00	6678	-8870.94	0.3200	0.00	191.7	561.350	107593.95	266326.83
Јуни	51069	2.3600	120522.84	55446	1.1600	64317.36	18204	1351.23	0.520	702.64	17166	-1131.18	0.3200	0.00	194.1	561.350	108941.19	294484.03
Јули	56028	2.3600	132226.08	59637	1.1600	69178.92	23364	4874.76	0.520	2534.88	24528	4847.79	0.3200	1551.29	194.1	561.350	108958.04	314449.20
Август	52851	2.3600	124728.36	56337	1.1600	65350.92	18492	1051.17	0.520	546.61	15603	-2988.21	0.3200	0.00	194.1	561.350	108958.04	299583.92
Септември	46575	2.3600	109917.00	48450	1.1600	56202.00	12588	-2781.75	0.520	0.00	9375	-6613.5	0.3200	0.00	193.2	561.350	108435.98	274554.98
Октомври	41525	2.3600	97999.00	46320	1.1600	53731.20	10230	-3473.25	0.520	0.00	7450	-7835.6	0.3200	0.00	188.2	561.350	105651.68	257381.88
Ноември	39762	2.3600	93838.32	44094	1.1600	51149.04	7578	-5543.46	0.520	0.00	4863	-9688.02	0.3200	0.00	183.3	561.350	102912.30	247899.66
Декември	36387	2.3600	85873.32	33612	1.1600	38989.92	7143	-4864.71	0.520	0.00	3783	-7308.96	0.3200	0.00	164.5	561.350	92319.62	217182.86

Табела 18: Потрошена електрична енергија и моќност / Table 18: Electricity and power consumption

2010																		
Месец	АС	Цена - АС	Износ - АС	АЕ	Цена - АЕ	Износ - АЕ	РС	РС- (АС*0.33)	Цена -РС	Износ - РС	РЕ	РЕ- (АЕ*0.33)	Цена - РЕ	Износ - РЕ	МГ	Цена - МГ	Износ - МГ	ВКУПНО
Јануари	35631	2.6000	92640.60	36423	1.2800	46621.44	12309	550.77	0.570	313.94	11847	-172.59	0.3500	0.00	164.8	617.350	101714.59	241290.56
Февруари	28155	2.6000	73203.00	30963	1.2800	39632.64	2553	-6738.15	0.570	0.00	1737	-8480.79	0.3500	0.00	161	617.350	99418.04	212253.68
Март	28134	2.6000	73148.40	31422	1.2800	40220.16	3741	-5543.22	0.570	0.00	2796	-7573.26	0.3500	0.00	140.9	617.350	86953.75	200322.31
Април	29496	2.6000	76689.60	31158	1.2800	39882.24	6288	-3445.68	0.570	0.00	4926	-5356.14	0.3500	0.00	166.7	617.350	102899.90	219471.74
Мај	25470	2.6000	66222.00	31590	1.2800	40435.20	3720	-4685.1	0.570	0.00	5331	-5093.7	0.3500	0.00	165.7	617.350	102270.20	208927.40
Јуни	28701	2.6000	74622.60	31125	1.2800	39840.00	6879	-2592.33	0.570	0.00	5829	-4442.25	0.3500	0.00	165.4	617.350	102103.52	216566.12
Јули	39546	2.6000	102819.60	35637	1.2800	45615.36	13506	455.82	0.570	259.82	10029	-1731.21	0.3500	0.00	182.3	617.350	112512.04	261206.81
Август	45267	2.6000	117694.20	45966	1.2800	58836.48	22062	7123.89	0.570	4060.62	22122	6953.22	0.3500	2433.63	187.6	617.350	115790.17	298815.09
Септември	38646	2.6000	100479.60	38580	1.2800	49382.40	15771	3017.82	0.570	1720.16	14253	1521.6	0.3500	532.56	188.2	617.350	116179.10	268293.81
Октомври	4644	2.6000	12074.40	4389	1.2800	5617.92	1710	177.48	0.570	101.16	1893	444.63	0.3500	155.62	96.33	617.350	59469.33	77418.43
Ноември	876	2.6000	2277.60	1224	1.2800	1566.72	2028	1738.92	0.570	991.18	2829	2425.08	0.3500	848.78	5.25	617.350	3241.09	8925.37
Декември	1146	2.6000	2979.60	1560	1.2800	1996.80	2106	1727.82	0.570	984.86	2925	2410.2	0.3500	843.57	6.03	617.350	3722.62	10527.45

Табела 19: Потрошена електрична енергија и моќност / Table 19: Electricity and power consumption

2011																		
Месец	АС	Цена - АС	Износ - АС	АЕ	Цена - АЕ	Износ - АЕ	РС	РС- (АС*0.33)	Цена -РС	Износ - РС	РЕ	РЕ- (АЕ*0.33)	Цена - РЕ	Износ - РЕ	МГ	Цена - МГ	Износ - МГ	ВКУПНО
Јануари	1182	2.6000	3073.20	1665	1.2800	2131.20	2001	1610.94	0.570	918.24	2961	2411.55	0.3500	844.04	6.09	617.350	3759.66	10726.34
Февруари	1083	2.6000	2815.80	1506	1.2800	1927.68	1866	1508.61	0.570	859.91	2610	2113.02	0.3500	739.56	5.88	617.350	3630.02	9972.96
Март	1113	2.7400	3049.62	1527	1.3500	2061.45	2088	1720.71	0.600	1032.43	2892	2388.09	0.3700	883.59	6.42	651.210	4180.77	11207.86
Април	4506	2.7400	12346.44	3447	1.3500	4653.45	2577	1090.02	0.600	654.01	2844	1706.49	0.3700	631.40	81.24	651.210	52904.30	71189.60
Мај	11397	2.7400	31227.78	7758	1.3500	10473.30	5337	1575.99	0.600	945.59	4608	2047.86	0.3700	757.71	96.39	651.210	62770.13	106174.51
Јуни	18618	2.7400	51013.32	10659	1.3500	14389.65	9816	3672.06	0.600	2203.24	6699	3181.53	0.3700	1177.17	95.01	651.210	61871.46	130654.83
Јули	32490	2.7400	89022.60	32688	1.3500	44128.80	4728	-5993.7	0.600	0.00	4320	-6467.04	0.3700	0.00	137.6	651.210	89613.01	222764.41
Август	33834	2.7400	92705.16	33432	1.3500	45133.20	9192	-1973.22	0.600	0.00	5781	-5251.56	0.3700	0.00	136.9	651.210	89163.67	227002.03
Септември	33432	2.7400	91603.68	35220	1.3500	47547.00	6279	-4753.56	0.600	0.00	4752	-6870.6	0.3700	0.00	136.7	651.210	88987.85	228138.53
Октомври	19032	2.7400	52147.68	26262	1.3500	35453.70	648	-5632.56	0.600	0.00	1965	-6701.46	0.3700	0.00	128.4	651.210	83634.90	171236.28
Ноември	945	2.7400	2589.30	1452	1.3500	1960.20	741	429.15	0.600	257.49	1101	621.84	0.3700	230.08	46.9	651.210	30541.75	35578.82
Декември	1046	2.7400	2866.04	1370.7	1.1600	1590.01	1909	1563.72	0.600	938.23	2702	2249.169	0.3700	832.19	5.1	651.210	3321.17	9547.65

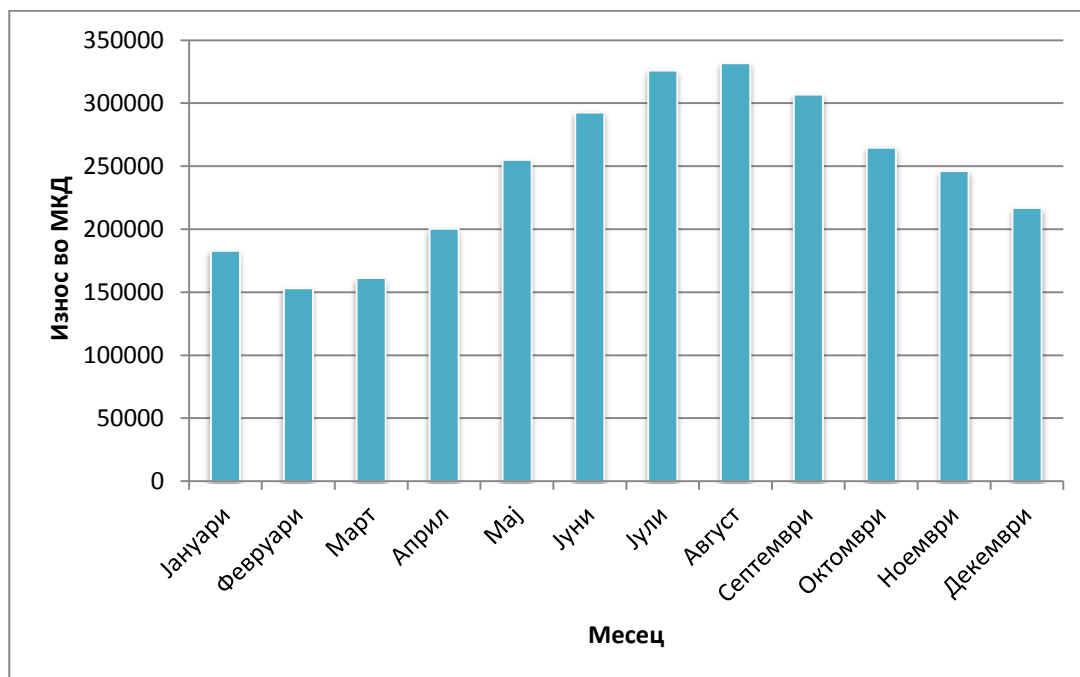
Табела 20: Потрошена електрична енергија и моќност / Table 20: Electricity and power consumption

2012																		
Месец	АС	Цена - АС	Износ - АС	АЕ	Цена - АЕ	Износ - АЕ	РС	РС- (АС*0.33)	Цена -РС	Износ - РС	РЕ	РЕ- (АЕ*0.33)	Цена - РЕ	Износ - РЕ	МГ	Цена - МГ	Износ - МГ	ВКУПНО
Јануари	1162	2.9500	3427.61	1609.2	1.4500	2333.34	1837	1453.773	0.650	944.95	2710	2179.164	0.4000	871.67	7.5	702.160	5266.20	12843.76
Февруари	1127	2.9500	3324.95	1480.5	1.4500	2146.73	1792	1419.657	0.650	922.78	2574	2085.735	0.4000	834.29	6.3	702.160	4423.61	11652.35
Март	993	2.9500	2929.35	1339.8	1.4500	1942.71	1974	1646.01	0.650	1069.91	2738	2295.366	0.4000	918.15	6.6	702.160	4634.26	11494.37
Април	804	2.9500	2371.80	1170	1.4500	1696.50	1764	1498.68	0.650	974.14	2702	2315.4	0.4000	926.16	7.2	702.160	5055.55	11024.15
Мај	626.7	2.9500	1848.77	879.6	1.4500	1275.42	1972	1764.789	0.650	1147.11	2802	2512.032	0.4000	1004.81	4.5	702.160	3159.72	8435.83
Јуни	9745	2.9500	28748.34	6276.3	1.4500	9100.64	4861	1644.684	0.650	1069.04	4160	2088.621	0.4000	835.45	76.5	702.160	53715.24	93468.71
Јули	29711	2.9500	87645.98	27792	1.4500	40297.97	8681	-1123.47	0.650	0.00	7657	-1514.06	0.4000	0.00	156.3	702.160	109747.61	237691.55
Август	43730	3.2400	141685.20	27258	1.5900	43340.22	24111	9680.07	0.710	6872.85	14762	5766.36	0.4400	2537.20	155.1	771.160	119606.92	314042.38
Септември	36190	3.2400	117255.60	24848	1.5900	39508.96	6146	-5797.2	0.710	0.00	4550	-3649.87	0.4400	0.00	135.6	771.160	104569.30	261333.85
Октомври	33215	3.2400	107614.98	17082	1.5900	27160.38	4391	-6570.09	0.710	0.00	1773	-3864.06	0.4400	0.00	141.9	771.160	109427.60	244202.96
Ноември	12811	3.2400	41506.34	7134.4	1.5900	11343.70	10247	6019.602	0.710	4273.92	6499	4144.548	0.4400	1823.60	77.7	771.160	59919.13	118866.69
Декември	1259	3.2400	4079.48	1240.8	1.5900	1972.87	2388	1972.497	0.710	1400.47	2456	2046.036	0.4400	900.26	6	771.160	4626.96	12980.04

Табела 21: Потрошена електрична енергија и моќност / Table 21: Electricity and power consumption

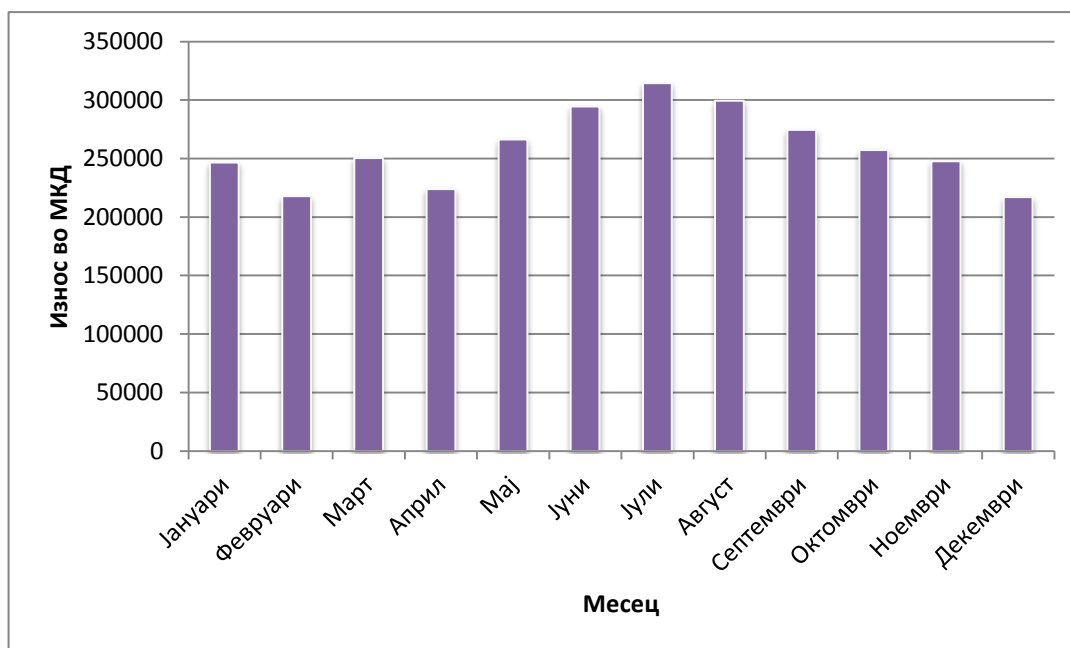
2013																		
Месец	АС	Цена - АС	Износ - АС	АЕ	Цена - АЕ	Износ - АЕ	РС	РС-(АС*0.33)	Цена -РС	Износ - РС	РЕ	РЕ-(АЕ*0.33)	Цена - РЕ	Износ - РЕ	МГ	Цена - МГ	Износ - МГ	ВКУПНО
Јануари	1443	3.2400	4675.32	1256.4	1.5900	1997.68	2527	2050.41	0.710	1455.79	2366	1950.888	0.4400	858.39	7.2	771.160	5552.35	14539.53
Февруари	1305	3.2400	4227.23	1164.3	1.5900	1851.24	2230	1799.049	0.710	1277.32	2132	1747.281	0.4400	768.80	9	771.160	6940.44	15065.03
Март	1355	3.2400	4391.50	1336.2	1.5900	2124.56	2429	1981.818	0.710	1407.09	2406	1965.354	0.4400	864.76	7.8	771.160	6015.05	14802.95
Април	1051	3.2400	3404.92	1026	1.5900	1631.34	2416	2069.103	0.710	1469.06	2244	1905.42	0.4400	838.38	6.9	771.160	5321.00	12664.71
Мај	9741	3.2400	31559.87	3465.6	1.5900	5510.30	3982	767.169	0.710	544.69	2104	960.252	0.4400	422.51	96	771.160	74031.36	112068.73
Јуни	17000	3.2400	55078.38	7519.5	1.5900	11956.01	1805	-3804.44	0.710	0.00	1119	-1362.74	0.4400	0.00	105.3	771.160	81203.15	148237.53
Јули	14148	3.0900	43718.25	7343.1	1.5200	11161.51	889	-3780.34	0.710	0.00	568	-1855.72	0.4400	0.00	132.9	736.620	97896.80	152776.56
Август	36026	3.1400	113121.64	15410	1.5400	23730.63	2648	9680.07	0.690	6679.25	638	-4447.34	43.0000	0.00	127.5	748.030	95373.83	238905.34
Септември	19679	3.1400	61791.75	8215.2	1.5400	12651.41	1349	-5145.24	0.690	0.00	677	-2033.92	0.4300	0.00	120.6	748.030	90212.42	164655.57
Октомври	6102	3.1400	19159.34	2834	1.5400	4364.36	783	-1230.56	0.690	0.00	171	-764.22	0.4300	0.00	69.6	748.030	52062.89	75586.59
Ноември	2173	3.1400	6823.85	1772.4	1.5400	2729.50	1893	1176.144	0.690	811.54	1631	1046.508	0.4300	450.00	48.3	748.030	36129.85	46944.73
Декември	1399	3.1400	4391.60	1334.1	1.5400	2054.51	2784	2322.162	0.690	1602.29	2795	2354.847	0.4300	1012.58	9	748.030	6732.27	15793.26

Врз основа на податоците од табелите 16 – 21 се добиени графициите за потрошени парични средства за периодот од 2008 до 2013 година кои се прикажани на Сликите 12 - 17.



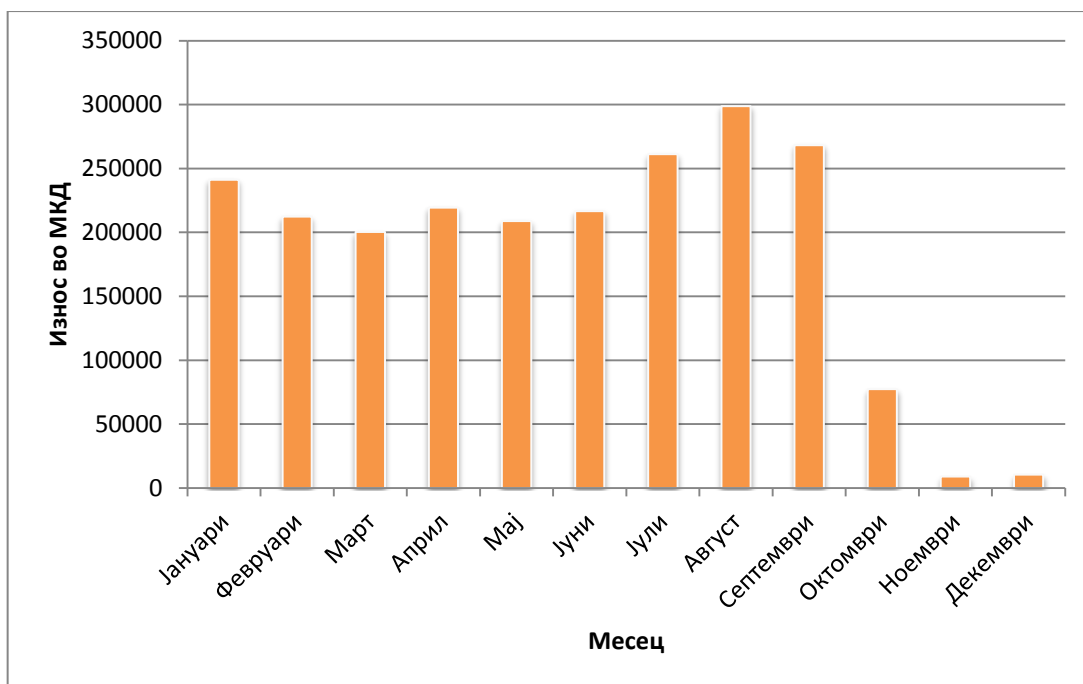
Слика 12: Вкупен износ за потрошена електрична енергија и моќност по месеци за 2008 г.

*Figure 2712: Total amount of the electricity and power for 2008*



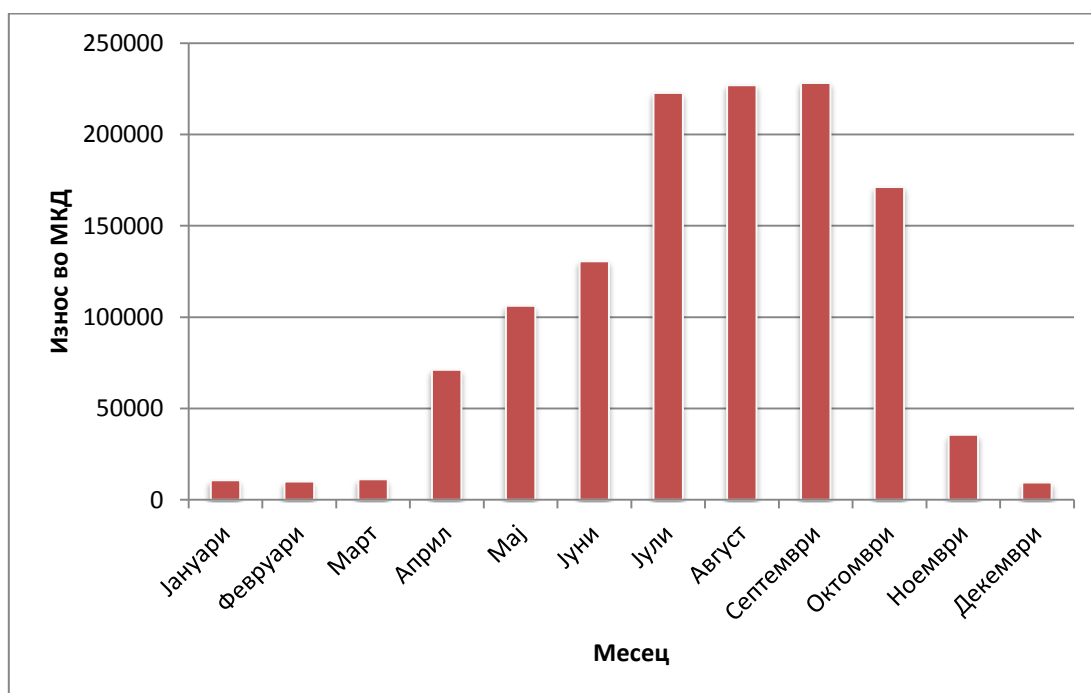
Слика 13: Вкупен износ за потрошена електрична енергија и моќност по месеци за 2009 г.

*Figure 13: Total amount of the electricity and power for 2009*



Слика 14: Вкупен износ за потрошена електрична енергија и моќност по месеци за 2010 г.

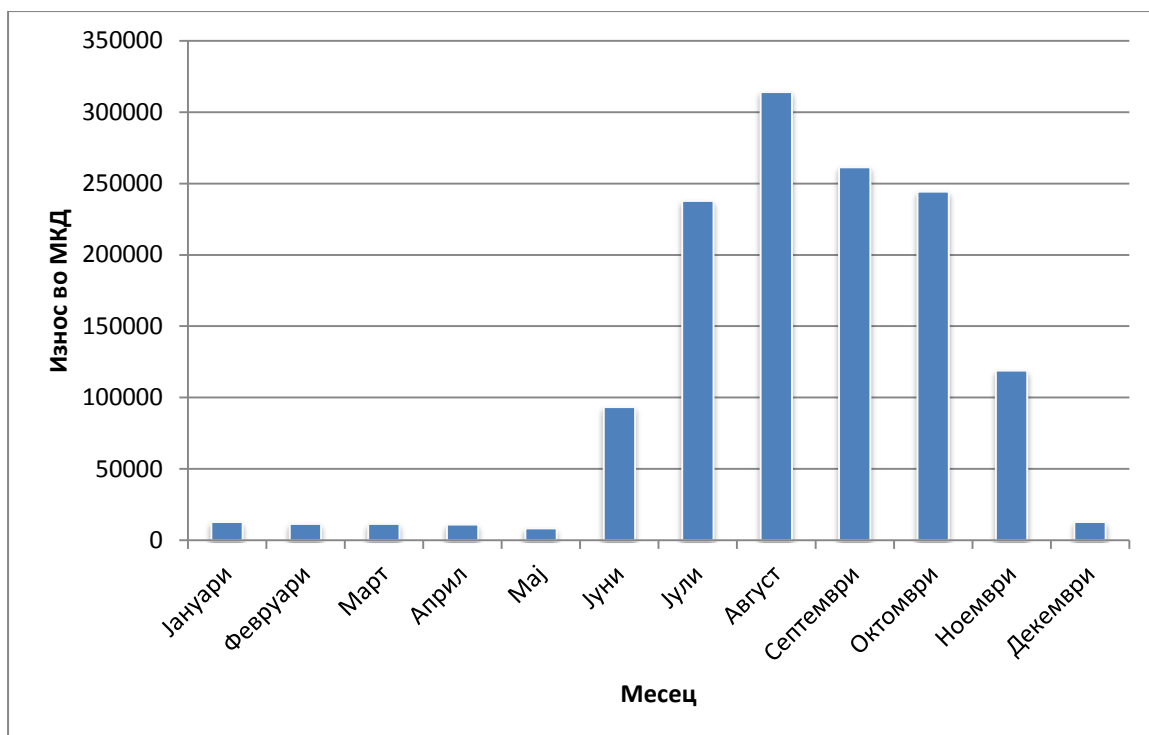
Figure 14: Total amount of the electricity and power for 2010



Слика 15: Вкупен износ за потрошена електрична енергија и моќност по месеци за 2011 г.

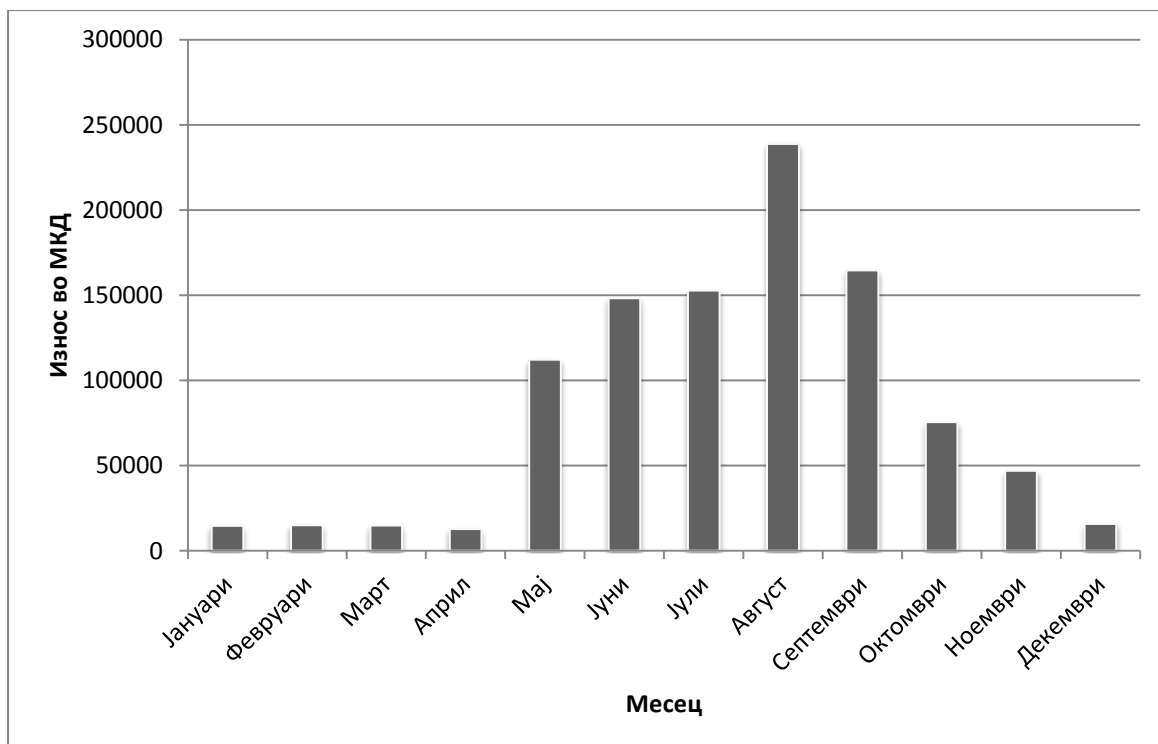
Figure15: Total amount of the electricity and power for 2011





Слика 1628: Вкупен износ за потрошена електрична енергија и моќност по месеци за 2012 г.

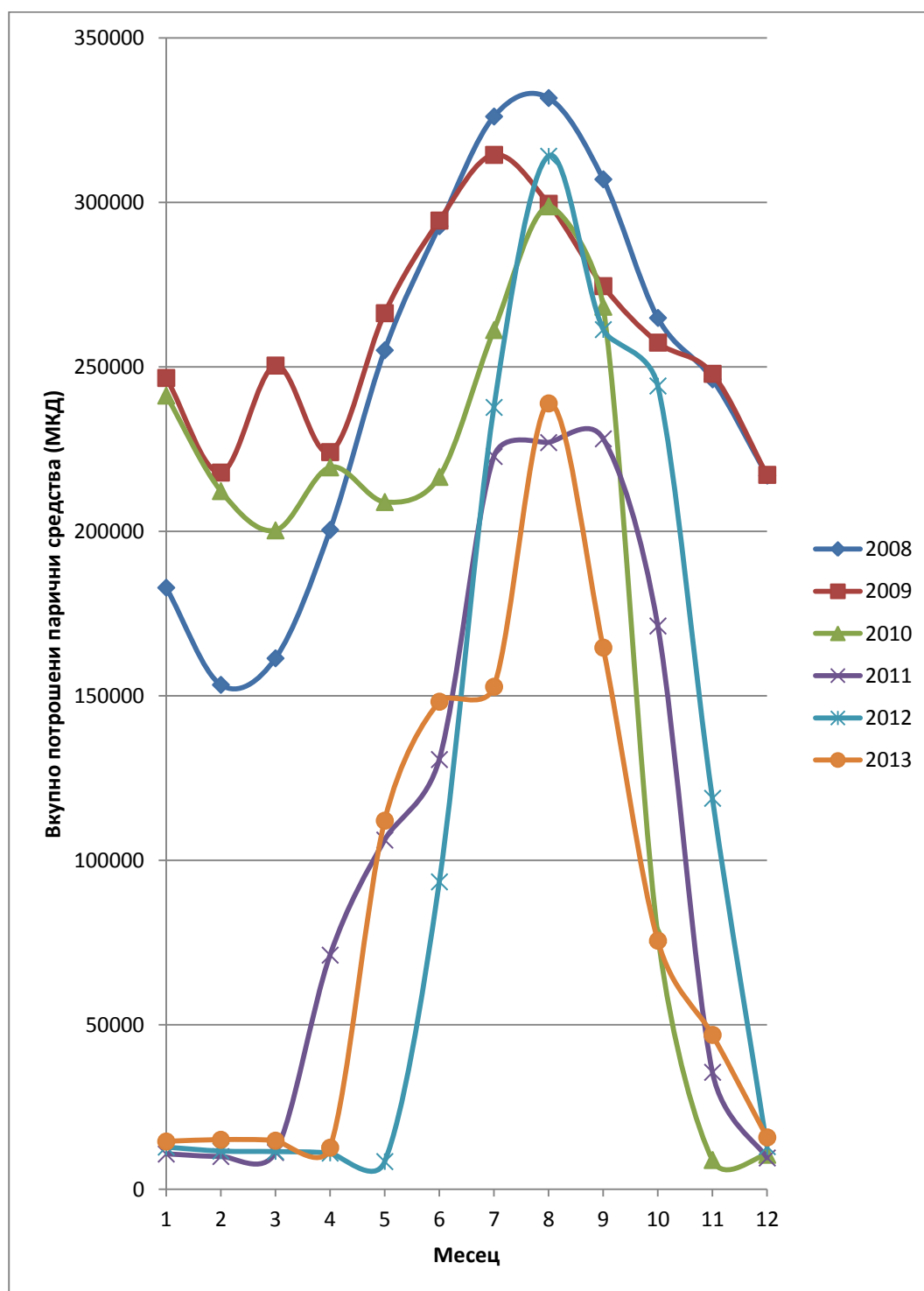
Figure 16: Total amount of the electricity and power for 2012



Слика 1729: Вкупен износ за потрошена електрична енергија и моќност по месеци за 2013 г.

Figure 1730: Total amount of the electricity and power for 2013

Дополнително, во графикот претставен на Слика 18, се прикажани споредбените криви за вкупните трошоци за електрична енергија кои претпријатието ги имало за периодот од сите 6 изминати години.



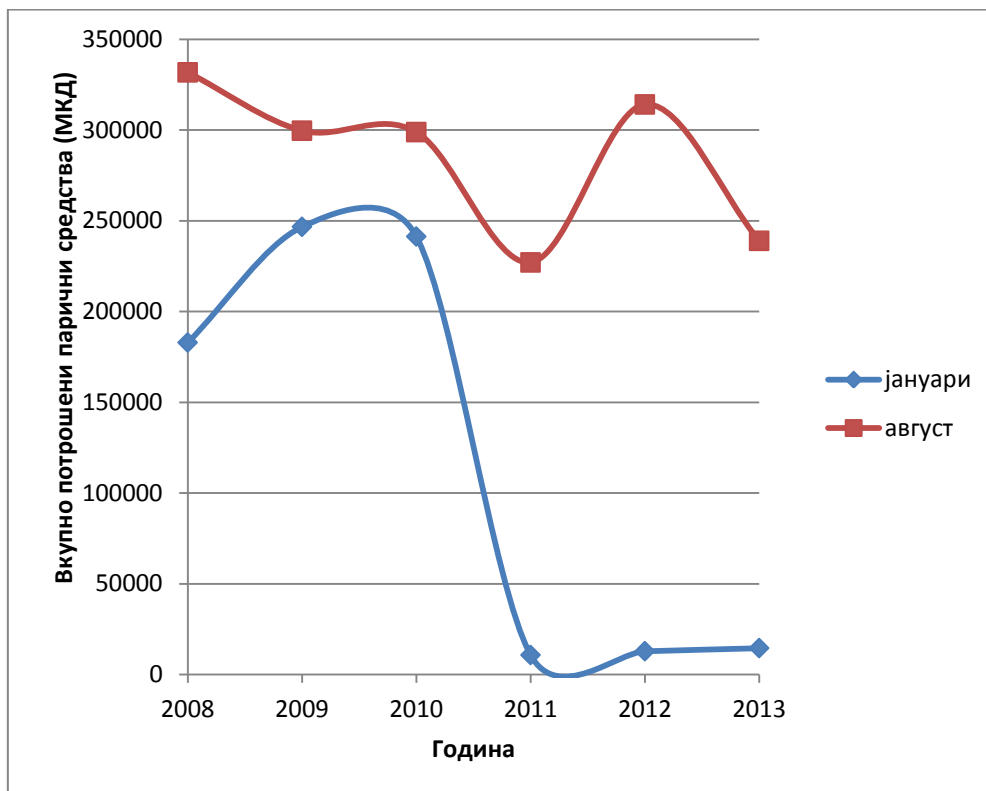
Слика 1831: Вкупен износ за потрошена електрична енергија и моќност по месеци за сите 6 години

Figure 18: Total amount of electricity and power for the all 6 years

Од граfiците на Сликите 12 – 14 може да се забележи дека во периодот од 2008, 2009 и првите 9 месеци од 2010 година, претпријатието имало големи трошоци за електрична енергија, последователно во сите месеци. Малку повисоки трошоци за електрична енергија имало во текот на летните месеци заради зголемената потрошувачка на вода во Општината.

По зонската поделба на градот претпријатието значително ги намалило трошоците за електрична енергија. Тоа може да се забележи од граfiците прикажани на Сликите 15, 16 и 17. Ваквата намалена потрошувачка на електрична енергија се должи пред сè на исклучувањето на пумпните станици во текот на зимскиот период т.е гравитационо водоснабдување на граѓаните на Општината во текот на зимскиот период.

Дополнително, за да се направи споредба на потрошувачката по месеци, во разгледуваните години одбрани се месеците август и јануари. Врз основа на податоците од табелите 16 – 21 се добиени граfiците за потрошените парични средства за електрична енергија за овие два месеци во периодот од 2008 до 2013 година.

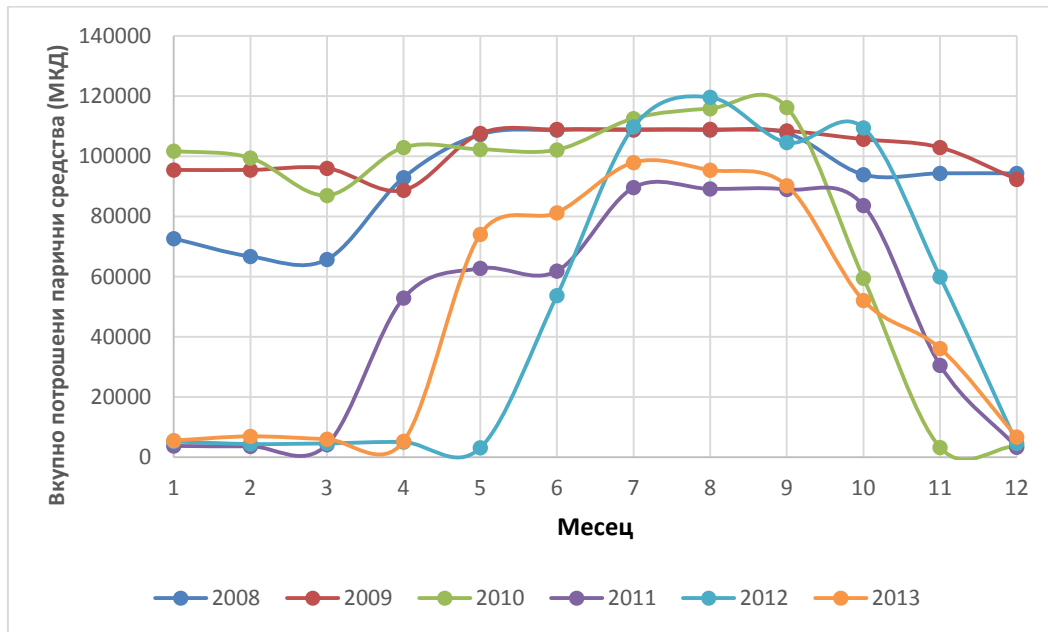


Слика 19: Потрошувачка на електрична енергија за месец јануари и август за период од 2008 до 2013 г.

*Figure 19: Consumption of the electric power for January and August for the period from 2008 to 2013*

Од графикот на Слика 19 се потврдува претходната констатација дека е добиено значително намалување на трошоците за електрична енергија по 2010 г. и тоа во период на зимските месеци, но високите суми за потрошена електрична енергија во летните месеци остануваат непроменети.

На Слика 20 е прикажан графикот за паричните средства потрошени за ангажирана моќност почнувајќи од 2008 до 2013 година, со цел да се направи нивна анализа.

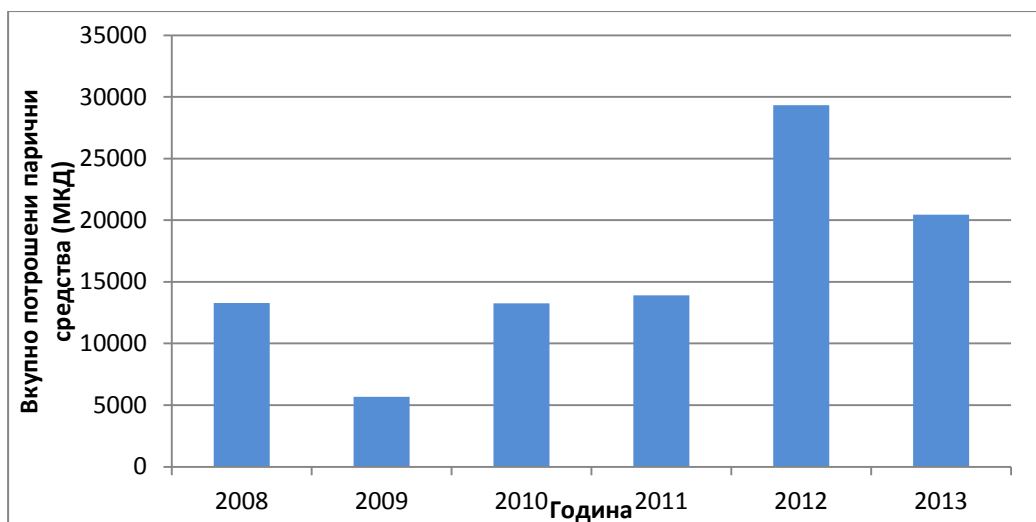


Слика 20: Потрошени парични средства за ангажирана моќност за период од 2008 до 2013 г.

*Figure 20: Consumption for committed power for the period from 2008 to 2013*

Според графикот на Слика 20 може да се дојде до заклучок дека претпријатието плаќа значително високи суми за ангажирана моќност, особено во летните месеци кога всушност и работат пумпните станици. Сумите за ангажирана моќност по 2010 г. значително се намалени меѓутоа само за зимските месеци.

Дополнително е направена анализа на потрошените парични средства за реактивна моќност за период од 2008 до 2009 г. Графикот е претставен на Слика 21.



Слика 21: Сума платена за реактивна моќност од електричната мрежа за период од 2008 до 2013 година

Figure 3221: Total amount paid for reactive power for a period from 2008 to 2013

Од графикот на Слика 21 може да се забележи дека во последните 6 години претпријатието плаќа високи суми за потрошена реактивна енергија.

Од направената анализа на моменталната состојба на системот и за референтната годишна потрошувачка за постигнување на целите на овој магистерски труд, дојдено е до заклучок дека кон крајот на 2010 година се направени успешни обиди за зголемување на енергетската ефикасност во системот преку реорганизација на работата на пумпите во зависност од периодот (летен/зимски) т.е зонска поделба на градот.

Меѓутоа, дополнително во текот на истражувањето е дојдено до идеја да се примени и на сет од други и дополнителни мерки за надминување на воочените слабости во системот за водоснабдување, меѓу кои како позначајни се:

- подобрување на факторот на моќност  $\cos\phi$  кај електромоторите кои ги погонуваат пумпите со цел елиминирање на вишокот на реактивна моќност која системот за водоснабување ја презема од електроенергетската мрежа и за која се плаќаат дополнителни финансиски трошоци;
- развој на систем за автоматско регулирање на трите основни параметри во системот за водоснабдување: *притисок, проток на вода и количина на вода во резервоарите.*

### 6.3. Пресметка на потребите од вода врз основа на меродавниот број на жители со примена на регресиона анализа

За предвидување на побарувачката за вода кај водоснабдителните системи, секогаш се бара модел кој ќе ја прикаже врска помеѓу побарувачката на вода и останатите социјални, демографски, економски и хидролошки фактори. Развојот на емпириски модели овозможува да се направи анализа на целиот систем (*Mays and Tung, 1993*).

Регресионата анализа е една од најкористените статистички техники за истражување и моделирање на ваков тип на системи. Токму ваква регресиона анализа е направена на системот за водоснабдување на ЈП „Плаваја“ – Радовиш со цел да се добие модел за предвидување на побарувачката од вода за во иднина т.е за нашиот случај за следната 2016 година. Добиените податоци се потребни за симулирање на состојбата на системот со цел одредување на оптимални решенија за зголемување на неговата енергетска ефикасност.

Прва задача во креирање на моделот за конкретниот систем е дефинирање на факторите кои влијаат на побарувачката од вода. За водоснабдителниот систем на ЈП „Плаваја“ двата најбитни фактори се: побарувачката на вода и бројот на жители во Општината. За овие два фактори се дадени вредностите во Табела 22 и тоа за последователни 6 години почнувајќи од 2008 до 2013 година.

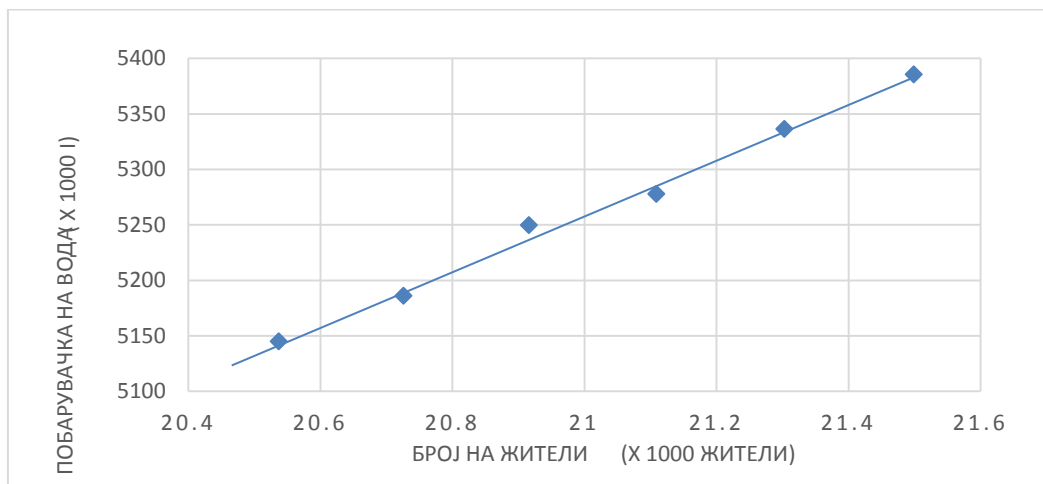
Табела 22: Побарувачка за вода во Општина Радовиш  
*Table 22: Water demand in Radovich Municipality*

Година	Популација (жители)	Годишна потрошувачка на вода (l)
2008	20 537	5 145 163
2009	20 726	5 186 260
2010	20 916	5 249 909
2011	21 109	5 278 013
2012	21 303	5 336 577
2013	21 499	5 385 706
<b>Извор:</b> Снабдување со вода за пиење и одведување на урбани и отпадни води во Општина Радовиш 2013 година – ЈП “Плаваја” јануари 2014 година <b>Source:</b> <i>Suppling with drinking water and sanitation for the urban wastewater for Municipality of Radovich 2013 year - PC Plavaja, January 2014</i>		

За конкретниов случај ќе биде дадена врската помеѓу побарувачката за вода на годишно ниво и вкупниот број на жители.

Годишната побарувачка за вода се зголемува со зголемување на бројот на жители, сепак се поставува прашањето како побарувачката за вода ќе варира во однос на зголемувањето на популацијата. Доколку поставиме врска помеѓу овие два фактора ќе можеме да ја „предвидиме“ побарувачката за вода за очекуваниот прираст на населението.

Првиот чекор за воспоставување врска помеѓу овие два фактора е да се нацрта графикот на кој на хоризонталната оска ќе се прикаже бројот на жители, а на вертикалната оска ќе се прикаже побарувачката за вода. Ваквиот график е прикажан на Слика 22.



Слика 22: Побарувачка за вода во Општина Радовиш  
*Figure 22: Water demand in Radovish Municipality*

Следниот чекор се состои во одредување на математичка функција со која би се опишал трендот на пораст на побарувачката на вода во однос на зголемувањето на популацијата. Претпоставуваме дека побарувачката на вода (Q) за Општина Радовиш е линеарно поврзана со популацијата (POP) и таа може да се опише со следнава релација:

$$Q = \beta_0 + \beta_1 POP$$

каде што  $\beta_0$  е ефект или регресионен коефициент, а  $\beta_1$  е коефициентот на правецот на правата на регресија, односно тангенс од аголот што го зафаќа правата со позитивниот дел од x-оската. Оваа релација претставува детерминистички модел според кој побарувачката за вода (Q) е единствено определен од популацијата (POP). Всушност, од графикот може да се

забележи дека некои од точките „не лежат“ на правата, па затоа оваа релација може да се прикаже со:

$$Q = \beta_0 + \beta_1 POP + \varepsilon$$

или

$$y = \beta_0 + \beta_1 x + \varepsilon$$

каде што  $y$  е  $Q$ ,  $x$  е  $POP$ , а  $\varepsilon$  е ознака за грешка која го означува несовпаѓањето на добиените вредности за побарувачка од вода и проценетите вредности со правата линија добиена со првата релација прикажана на Слика 22. Со други зборови,  $\varepsilon$  ја дава отстапката за предложениот модел да се совпаѓа со реалните вредности. Ваквиот модел претставува проста линеарна регресија. Променливата  $y$  се нарекува зависна променлива (регресант) додека пак  $x$  се нарекува независна променлива (регресор). Ваквиот модел всушност претставува едноставен линеарно регресионен модел бидејќи има само една независна променлива. Повеќекратен линеарно регресионен модел може да се добие со проширување на веќе предложениот со вклучување на уште неколку независни променливи:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \dots + \beta_k x_k + \varepsilon$$

каде што  $\beta$  ги претставува параметрите на моделот кои се нарекуваат регресиони коефициенти.

Вториот чекор од регресионата анализа е да се одредат регресионите коефициенти, кои всушност се непознати параметри за моделот. Нивното одредување се врши со набљудување на зависните и независните параметри на системот.

Развивањето на модел кој е поврзан со зависни и независни променливи (или регресори) со регресиона анализа е итеративен процес. Успехот во развојот на ваквиот модел во голема мера зависи од способноста да го толкува резултантниот модел оној кој го креира моделот, како и да прави корелација помеѓу „однесувањето“ на моделот и процесот кој се набљудува.

Пред да се прикажат техничките аспекти, потребно е да се препознаат некои клучни аспекти во регресионата анализа. Регресиониот модел не имплицира на причинско-последнична врска помеѓу променливите. Во многу емпириски истражувања, често пати инженерите постојано имаат значителни познавања за процесот и затоа тие можат да одберат независни променливи



кои се причински фактори кои придонесуваат за добивање на одговорот. Во такви случаи, регресионата анализа може да се искористи за да се потврдат таквите врски. Формулите кои се развиени со регресиона анализа се само апроксимација на многу посложени комплексни врски кои постојат во реалните процеси. Освен тоа, сите регресиони модели се валидни само во рамките на одреден опсег на податоци кои се применети во анализата.

### **Линеарна регресија**

Врз основа на првото равенство за секое од набљудувањата може да се добие следново равенство:

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_{i1} + \dots + \beta_k x_{ik} + \varepsilon_i \quad i = 1, 2, \dots, n$$

каде што  $y_i$  е  $i$ -тото набљудување на зависната променлива,  $x_{ik}$  е  $i$ -тото набљудување на  $k$ -тата независна променлива,  $\varepsilon_i$  е соодветната грешка, и  $n$  е вкупниот број на набљудувања. Ваквиот модел може да се прикаже во матрична форма на следниов начин:

$$y = X\beta + \varepsilon$$

во која

$$y = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ \cdot \\ y_n \end{bmatrix} \quad X = \begin{bmatrix} 1 & x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1k} \\ 1 & x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2k} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & x_{n1} & x_{n2} & \cdots & x_{nk} \end{bmatrix}$$

$$\beta = \begin{bmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \\ \vdots \\ \cdot \\ \beta_k \end{bmatrix} \quad \varepsilon = \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \vdots \\ \cdot \\ \varepsilon_n \end{bmatrix}$$

Во регресионата анализа, можат да се постават следниве претпоставки (Mays and Tung, 1993):

1. Случајната грешка која се однесува на секое набљудување е нормално распределена со средна вредност 0 и непозната стандардна девијација  $\sigma^2$ , која е  $E(\varepsilon_i) = 0$  и  $Var(\varepsilon_i) = \sigma^2$  за  $i = 1, 2, \dots, n$ .

2. Сите случајни грешки се статистички независни. Односно,  $Cov(\varepsilon_i, \varepsilon_j) = 0$ , за  $i \neq j$ .
3. Вредностите за независните променливи  $x_1, x_2, \dots, x_k$  се измерени без грешка.
4. Зависната променлива  $y$  е случајна променлива со следниве средна вредност и стандардна девијација:

$$E(y|x_1, x_2, \dots, x_k) = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \dots + \beta_k x_k$$

$$Var(y|x_1, x_2, \dots, x_k) = \sigma^2$$

Од овие равенки може да се забележи дека средната вредност на  $y$  претставува линеарна функција од независната променлива додека стандардната девијација на  $y$  е константа која не е зависна од вредностите на независните променливи. Сепак, постои општ случај кога моделот е полиномна функција од истата независна променлива:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x + \beta_2 x^2 + \dots + \beta_k x^k + \varepsilon$$

каде што  $k$  е редот на полиномната функција. Други, почесто користени повеќекратни линеарно регресиони модели се логаритамските трансформации:

$$y = e^{\beta_0} x_1^{\beta_1} x_2^{\beta_2} \dots x_k^{\beta_k} e^{\varepsilon}$$

и

$$e^y = e^{\beta_0} x_1^{\beta_1} x_2^{\beta_2} \dots x_k^{\beta_k} e^{\varepsilon}$$

Важен дел од регресионата анализа е одредувањето на непознатите регресиони коефициенти  $\beta$  кое се базира на податоците добиени од набљудувањето. Според првото равенство, можно е графички да се нацртаат повеќе различни линии низ податочните точки. Сепак, прашањето е „која е вистинската“? Во регресионата анализа, непознатите регресиони коефициенти се одредуваат со т.н. **методот на најмали квадрати** со кој сумата од квадратите на разликите помеѓу набљудуваната и пресметаната вредност за  $y$  е минимизирана. Математички, методот на најмали квадрати во линеарната регресија може да се претстави како:

$$\text{Минимален } \hat{\beta}_0, \hat{\beta}_1, \dots, \hat{\beta}_k \quad D = \sum_{i=1}^n e_i^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 = \sum_{i=1}^n [y_i - (\hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 x_{i1} + \dots + \hat{\beta}_k x_{ik})]^2$$

каде што  $D$  е „поклопувањето“,  $y_i$  е добиената вредност за  $i$ -тото набљудување, а  $\hat{y}_i$  е пресметаната вредност за  $i$ -тото набљудување и е поврзана со конкретните вредности  $\hat{\beta}_0, \hat{\beta}_1, \dots, \hat{\beta}_k$ . Таа е дадена со равенството:

$$\hat{y}_i = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 x_{i1} + \dots + \hat{\beta}_k x_{ik}.$$

Непознатите регресиони коефициенти  $\beta$  мора да ги задоволуваат следниве услови:

$$\left[ \frac{\partial D}{\partial \beta_0} \right]_{\hat{\beta}_0, \hat{\beta}_1, \dots, \hat{\beta}_k} = -2 \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{\beta}_0 - \hat{\beta}_1 x_{i1} - \dots - \hat{\beta}_k x_{ik}) = 0$$

$$\left[ \frac{\partial D}{\partial \beta_j} \right]_{\hat{\beta}_0, \hat{\beta}_1, \dots, \hat{\beta}_k} = -2 \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{\beta}_0 - \hat{\beta}_1 x_{i1} - \dots - \hat{\beta}_k x_{ik}) x_{ij} = 0 \quad j = 1, 2, \dots, k$$

Овие равенки може да се поедностават со  $k+1$  непознати и  $k+1$  равенки така што би се добиле следниве **равенки**:

$$\begin{aligned} n\hat{\beta}_0 + \sum_{i=1}^n x_{i1}\hat{\beta}_1 + \sum_{i=1}^n x_{i2}\hat{\beta}_2 + \dots + \sum_{i=1}^n x_{ik}\hat{\beta}_k &= \sum_{i=1}^n y_i \\ \sum_{i=1}^n x_{i1}\hat{\beta}_0 + \sum_{i=1}^n x_{i1}^2\hat{\beta}_1 + \sum_{i=1}^n x_{i1}x_{i2}\hat{\beta}_2 + \dots + \sum_{i=1}^n x_{i1}x_{ik}\hat{\beta}_k &= \sum_{i=1}^n y_i x_{i1} \\ \sum_{i=1}^n x_{ik}\hat{\beta}_0 + \sum_{i=1}^n x_{ik}x_{i1}\hat{\beta}_1 + \sum_{i=1}^n x_{ik}x_{i2}\hat{\beta}_2 + \dots + \sum_{i=1}^n x_{ik}^2\hat{\beta}_k &= \sum_{i=1}^n y_i x_{ik} \end{aligned}$$

каде што  $x_{ij}$  го претставува  $i$ -тото набљудување на  $j$ -тата независна променлива,  $i = 1, 2, \dots, n$  и  $j = 1, 2, \dots, k$ .

Во матрична форма, овие равенки може да се претстават како:

$$(\mathbf{X}^T \mathbf{X}) \hat{\beta} = \mathbf{X}^T \mathbf{y}$$

каде што  $T$  е ознака за транспонирана матрица. Оваа равенка може да се реши за  $\hat{\beta}$  со цел да се добијат следниве математички изрази за регресионите коефициенти:

$$\hat{\beta} = (\mathbf{X}^T \mathbf{X})^{-1} \mathbf{X}^T \mathbf{y}$$

каде што  $\hat{\beta} = (\hat{\beta}_0, \hat{\beta}_1, \dots, \hat{\beta}_k)^T$ .  $(\mathbf{X}^T \mathbf{X})^{-1}$  е квадратна симетрична  $(k+1) \times (k+1)$  матрица чија што инверзна матрица секогаш постои доколку независните променливи се линеарно независни.

По одредување на регресионите коефициенти, може да се пресмета и зависната променлива  $\hat{y}_i$ :

$$\hat{y}_i = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 x_{i1} + \dots + \hat{\beta}_k x_{ik}$$

За водоснабдителниот систем на ЈП „Плаваја“ постои само една независна променлива која всушност е побарувачката за вода што значи дека  $\hat{\beta}_0$  може да се добие со:

$$\hat{\beta}_0 = \bar{y} - \hat{\beta}_1 \bar{x}$$

и

$$\hat{\beta}_1 = S_{xy}/S_{xx}$$

каде што аритметичката средина на  $y_i$  и  $x_i$  се:

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i \quad \text{и} \quad \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

и

$$S_{xy} = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 = \sum_{i=1}^n x_i^2 - n\bar{x}^2$$

$$S_{xx} = \sum_{i=1}^n y_i(x_i - \bar{x}) = \sum_{i=1}^n y_i x_i - n\bar{x}\bar{y}$$

Вака предложениот модел може да се искористи за „предвидување“ на годишната побарувачка за вода за Општина Радовиш во зависност од бројот на жители. Според вредностите дадени во Табела 23 за предложениот модел се добиваат следниве вредности:

Табела 23: Добиени вредности за системот на ЈП „Плаваја“  
Table 23: Values obtained for the PC "Plavaja" system

Конкретни вредности за променливите од моделот:	
$n = 6$	
$\sum_{i=1}^n x_i = 126\,089$	$\bar{x} = 21\,014$
$\sum_{i=1}^n y_i = 31\,527\,429$	$\bar{y} = 5\,254\,572$

$\sum_{i=1}^n x_i^2 = 2\,650\,386\,562$	$S_{xx} = 648\,051$
$\sum_{i=1}^n x_i y_i = 662\,705\,581\,312$	$S_{xy} = 162\,012\,835$

Според вредностите во Табела 23 за непознатите регресиони коефициенти се добива:

$$\hat{\beta}_1 = \frac{S_{xy}}{S_{xx}} = 249.99999998 \quad \text{и} \quad \hat{\beta}_0 = 864,004203$$

Резултантниот регресионен модел е:

$$\hat{y} = 249.99999998 + 864,004203 \cdot x$$

каде што  $\hat{y}$  е вкупната годишна побарувачка за вода изразена во литри, а  $x$  е бројот на жители. Вака добиеното равенство ја претставува правата прикажана на графикот на Слика 22.

Врз основа резултантниот регресионен модел заклучуваме дека за 2016 година вкупната годишна побарувачка за вода би била:

$$\hat{y} = 249.99999998 + 864,004203 \cdot 22\,098 = 5\,525\,364\,l$$

Бројот на жители за 2016 г. е добиен според формулата:

$$N = N_0 \left(1 + \frac{p}{100}\right)^n = 22\,098$$

каде што  $N_0$  е почетниот број на жители,  $p$  е процентот на природен прираст кој за Општина Радовиш изнесува 1%, а  $n$  е разгледуваниот период од 6 години.

Од добиената вредност за побарувачка на вода во Општина Радовиш е пресметана просечната дневна побарувачка на вода по жител за Општина Радовиш која изнесува приближно  $Q_0 = 250\,l/ж$  т.е  $Q_0 = 0,25\,m^3/ж$ .

Врз основа на добиените податоци за просечната дневна побарувачка за вода за 2016 г. од предложениот математички модел ќе биде направена симулација на системот во LabView.

#### **6.4. Методи за намалување на потрошувачката на електрична енергија во системот**

Врз основа на направената анализа, се заклучува дека реализацијата на претходно споменатите мерки за зголемување на енергетската ефикасност на системот може да се изврши преку следниве предвидени методи:

1. Водоснабдување по гравитационен пат кога побарувачката на вода е помала т.е. исклучување на пумпните станици во текот на зимскиот период (*делумно реализиран метод*);
2. Примена на кондензаторски батерии за компензација на реактивната моќност со цел елиминирање на реактивната моќност во системот т.е. подобрување на факторот на моќност  $\cos\varphi$ ;
3. Примена на SCADA систем со цел оптимизација на режимот на работа на пумпите во зависност од потребите од вода на потрошувачите и цените на електричната енергија за оптимирање на вредностите на трите основни параметри во системот: притисок, проток на вода и количина на вода во резервоарите.

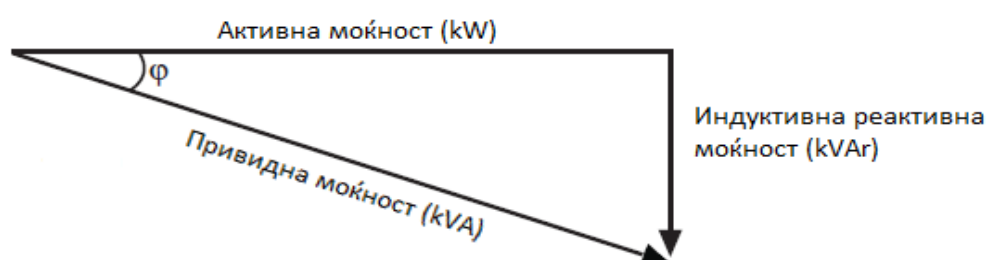
##### **6.4.1. Реорганизација на работата на пумпите**

Ова е делумно реализиран метод. Според направените анализи за потрошувачката на електрична енергија, која во најголем дел е потребна за погонување на пумпите, заклучивме дека кон крајот на 2010 година таа е значително намалена. Тоа значи дека е направена реорганизација на работата на пумпите, односно е воведено зонско водоснабдување на Општината. Во текот на зимските месеци се врши гравитационо водоснабдување на градот, односно пумпните станици воопшто не работат. Тоа всушност е причината за намалените трошоци за електрична енергија во текот на зимските месеци. За летниот период е направена поделба на градот на 4 зони (Слика 4), при што зоните 3 и 4 се водоснабдуваат преку двете пумпни станици „Индустија“ и „Раклиш“.

#### 6.4.2. Примена на кондензаторски батерии за компензација

Во поголем број од случаите, електричните уреди покрај активната енергија која ја земаат од електроенергетската мрежа земаат и реактивна енергија. Оваа т.н. **реактивна енергија** ја користат електроенергетските уреди (*мотори, генератори, трансформатори и сл.*) за создавање на електромагнетно поле како медиум за претворање на енергијата од еден во друг вид (*механичка во електрична, електрична во механичка, или едноставно електрична во електрична*). Оваа енергија не се претвора во корисна работа, па оттаму и нејзиното име реактивна енергија или „јалова“ енергија. Ако оваа реактивна енергија не е произведена локално на местото каде што се троши, со цел уредот да функционира како што треба, тогаш таа мора да биде преземена од електричната мрежа каде истата е создадена од некој друг енергетски извор. Соодветно на тоа, секое преземање на оваа реактивна енергија од електричната мрежа резултира со дополнителни парични средства кои треба да се исплатат на изворот на таа реактивна енергија во смисла на т.н. системски услуги. Постојат повеќе начини за генерирање на реактивна моќност локално, но вообичаено за локална употреба се применуваат соодветно дизајнирани кондензаторски батерии (*ABB, 2010*).

На Слика 23 е прикажан фазорскиот дијаграм на моќности, односно фазорите на активната и реактивната моќност и резултантниот фазор на т.н. привидна моќност.



Слика 23: Геометриски збир на активна и реактивна моќност  
*Figure 23: Geometric sum of active and reactive power.*

Реактивната и активната моќност која ја користат електричните мотори ја даваат вкупната моќност која се добива со нивниот геометриски збир.

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

Каде што :

$S$  – вкупна (привидна) моќност (VA)

$P$  - активна моќност (W)

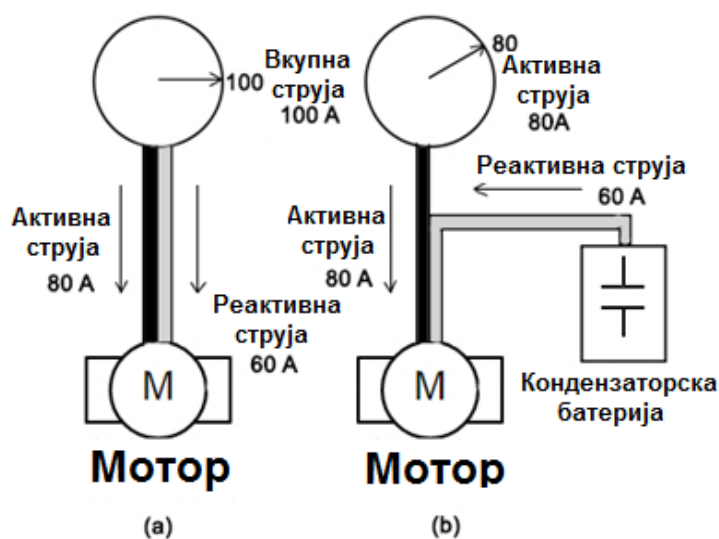
$Q$  – реактивна моќност (VAr)

Односот помеѓу активната и вкупната моќност го дава факторот на моќност преку кој може да се пресмета колкав дел од вкупната моќност е всушност активна, а колкав дел ѝ припаѓа на реактивната моќност.

$$\cos \varphi = \frac{P}{S}$$

Вредноста на факторот на моќност се движи од 0 (само реактивна моќност) до 1 (само активна моќност).

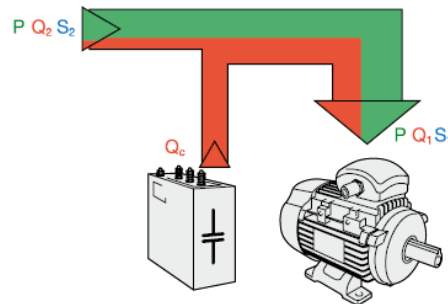
На Слика 24 е претставена шема за споредба на два мотора од кои едниот користи електрична моќност од електроенергетска мрежа, а другиот од локална кондензаторска батерија. Придобивките во однос на енергетската ефикасност кои се овозможуваат со кондензаторските батерии се значителни. Електричниот мотор на Слика 24 (а) кој има мал фактор на моќност ја користи реактивната моќност директно од дистрибутивната мрежа, за разлика од електричниот мотор на Слика 24 (б) до кој има додадено кондензаторска батерија и кој не користи електрична моќност од електричната мрежа туку од самата батерија.



Слика 24: Напојување на електричен мотор со и без компензација  
Figure 24: Power supply of the electric motor, with/without compensation.



Бидејќи кај водоснабдителниот систем на ЈП „Плаваја“ се користат два типа на асинхрони мотори кои користат реактивна моќност директно од електричната мрежа, со примена на соодветна компензација на реактивната моќност од кондензаторски батерии може да се постигне значително зголемување на енергетската ефикасност на целиот систем. Примената на кондензаторски батерии, може да обезбеди само дел од потребната реактивна моќност, со што ќе се обезбеди значително зголемување на факторот на моќност до вредност **0.96**. Ваквото зголемување е потребно бидејќи согласно мрежните правила само системите кои имаат фактор на моќност помал од **0.95** се должни да плаќаат дополнителни парични средства за потрошената реактивна моќност од електричната мрежа (Законот за енергетика - „Службен весник на Република Македонија“ бр. 16/11 и 136/11)



Слика 25: Електричен мотор кој користи реактивна моќност од кондензаторска батерија

*Figure 25: Electric motor that uses reactive power from capacitor bank.*

На Слика 25 е претставен мотор кој користи реактивна моќност од кондензаторска батерија. Значењето на секоја од ознаките од сликата е:

$Q_c$  - реактивна моќност која треба да биде генерирана од кондензаторски батерии

$Q_1$  - реактивна моќност која му е потребна на електричниот мотор

$Q_2$  - реактивна моќност која ја повлекува електричниот мотор од мрежата

$P$  – активна моќност

$\cos \phi 1$  - фактор на моќност пред корекцијата

$\phi 1$  - агол помеѓу напонот и струјата пред корекцијата

$\cos \phi 2$  - фактор на моќност после корекцијата

$\phi 2$  - агол помеѓу напонот и струјата после корекцијата

Пресметката за потребната реактивна моќност за компензација и изборот на типот на компензација се двата најбитни чекори во постигнувањето на економските придобивки на предложената мерка.

Реактивната моќност која треба да биде генерирана од кондензаторските батерии може да се добие со равенката:

$$Q_c = Q_1 - Q_2 = P * (\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2) \text{ [VAr]}$$

Врз основа на прикажаната формула може да се направи пресметка на потребната реактивна моќност која ја користат двата типа на асинхрони мотори кои се применуваат во овој водоснабдителен систем за погонување на пумпите, односно потребната реактивна моќност која тие ја земаат од дистрибутивната мрежа.

Претходно беше направен детален опис на двата типа на мотори кои се користат кај водоснабдителниот систем на Општина Радовиш. Според тоа, податоци за првиот мотор се:

- напон на приклучување: 380 V.
- фревенција: 50 Hz.
- активна моќност: 22 kW.
- фактор на моќност при номинално оптоварување: 0,89
- струја при номинално оптоварување: 42 A

Според овие податоци може да се направи пресметка на фазната разлика помеѓу напоните и струите за факторот на моќност 0,89 и 0,96.

Според вредноста за факторот на моќност за моменталната состојба на системот  $\cos \varphi_1 = 0.89$  се добива фазна разлика помеѓу напонот и струјата  $\varphi_1 = 27^\circ$ . Од факторот на моќност кој би требало да се обезбеди со соодветната корекција во системот  $\cos \varphi_2 = 0.96$ , се добива вредноста за фазната разлика помеѓу напонот и струјата е  $\varphi_2 = 16^\circ$ .

Вредностите на фазната разлика помеѓу напонот и струјата за моменталната состојба, како и состојбата после корекцијата се потребни за пресметување на реактивна моќност која треба да биде генерирана од кондензаторски батерии  $Q_c$ :

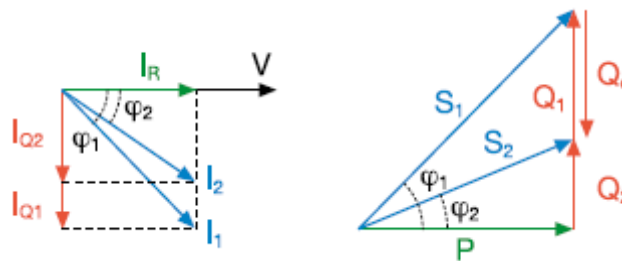
$$Q_c = Q_1 - Q_2 = P * (\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2) = 22000 * (\tan(27^\circ) - \tan(16^\circ)) = 22000 * 0,223 = 4906 \text{ [VAr]}$$

како и за пресметка на вредностите на струите  $I_1$  и  $I_2$  кои би ги повлекол од дистрибутивната мрежа електромоторот пред и после корекцијата на факторот на моќност  $\cos \varphi$ :

$$I_1 = \frac{P}{\sqrt{3} * U * \cos \varphi_1} = \frac{22000}{\sqrt{3} * 380 * 0,89} = 37,5 \text{ A}$$

$$I_2 = \frac{P}{\sqrt{3} * U * \cos \varphi_2} = \frac{22000}{\sqrt{3} * 380 * 0,96} = 34,8 \text{ A}$$

На Слика 26 се прикажани реактивната моќност како и вкупната струја пред и после компензацијата која електричните мотори ја земаат од мрежата и од кондензаторските батерии.



Слика 26: Резултантна (а) струја и (б) реактивна моќност пред и после компензацијата.

Figure 26: The resultant (a) current and (b) reactive power before and after the compensation

За вториот тип на мотори според принципот на еквиваленција, важи:

- напон на приклучување: 380 V
- фреквенција: 50 Hz
- активна моќност: 45 kW
- фактор на моќност при номинално оптоварување: 0,88
- струја при номинално оптоварување: 80 A

Според овие податоци може да се направи пресметка на фазната разлика помеѓу напоните и струите за факторот на моќност 0,88 и 0,96.

Според вредноста на факторот на моќност за моменталната состојба на системот  $\cos \varphi_1 = 0,88$  се добива фазна разлика помеѓу напонот и струјата

$\varphi_1 = 28^\circ$ . Од факторот на моќност кој би требало да се обезбеди со соодветната корекција во системот  $\cos \varphi_2 = 0.96$ , се добива нова вредност на фазната разлика помеѓу напонот и струјата  $\varphi_2 = 16^\circ$ .

Аналогно на пресметките за првиот тип на мотор, вредностите на фазната разлика помеѓу напонот и струјата за моменталната состојба, како и состојбата по корекцијата, се потребни за пресметување на реактивната моќност која треба да биде генерирана од кондензаторските батерии  $Q_c$  за вториот тип на мотор која за овој мотор изнесува:

$$Q_c = Q_1 - Q_2 = P * (\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2) = 45\,000 * (\tan(28^\circ) - \tan(16^\circ)) = 45\,000 * 0,287 = 12\,915 \text{ [VAr]}$$

додека вредностите на струите пред и по компознацијата на реактивната моќност изнесуваат  $I_1$  и  $I_2$ :

$$I_1 = \frac{P}{\sqrt{3} * U * \cos \varphi_1} = \frac{45\,000}{\sqrt{3} * 380 * 0,88} = 77,8 \text{ A}$$

$$I_2 = \frac{P}{\sqrt{3} * U * \cos \varphi_2} = \frac{45\,000}{\sqrt{3} * 380 * 0,96} = 71,3 \text{ A}$$

Според овие пресметки, вкупната реактивна моќност која дополнително треба да биде обезбедена од кондензаторските батерии е **4.9 kVAr** за првиот тип на мотор и **12.9 kVAr** за вториот тип на мотор. Односно, за целосна компензација на реактивната моќност за целиот систем (*двете пумпни станици и сите пет мотори*) до потребната вредност на  $\cos \varphi = 0.96$ , потребна е реактивна моќност од најмалку **40.5 kVAr**.

#### 6.4.3. Оптимизација на режимот на работа на пумпите во зависност од потребите и цените на електричната енергија

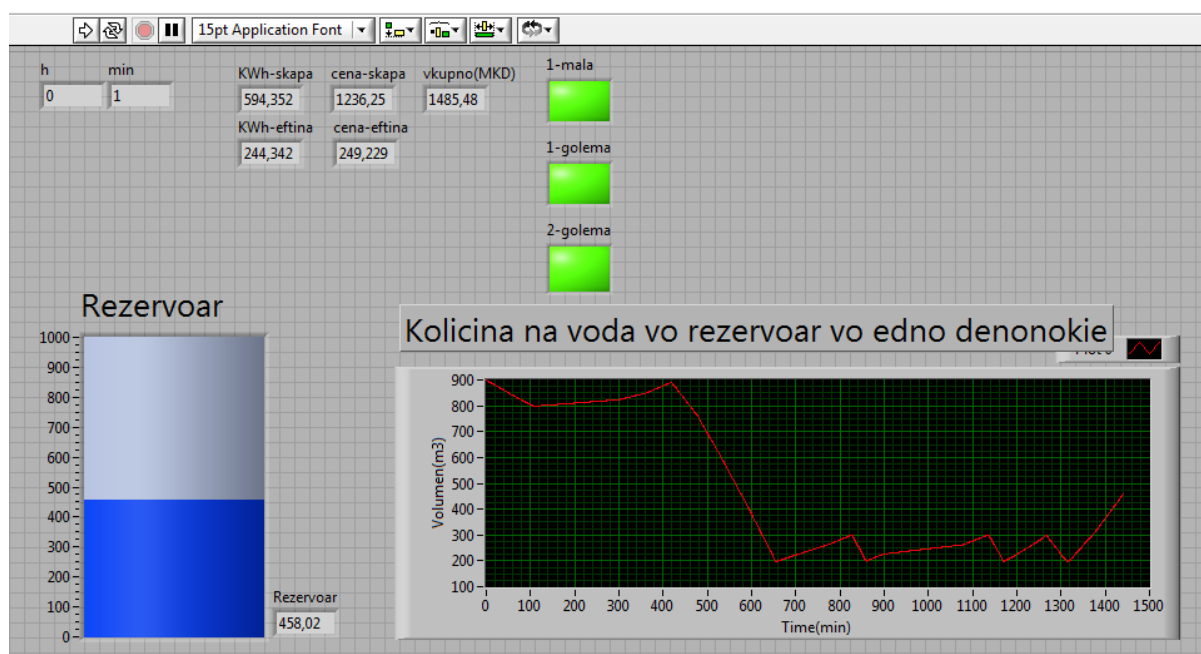
Зголемувањето на побарувачката за вода предизвикува зголемување на комплексноста на водоснабдителните системи. Оптимизацијата на овие системи зависи од параметрите кои се разгледуваат и од целите кои треба да се постигнат во системот. Режимот на работа на пумпите станува комплексен процес кога станува збор за поголем водоснабдителен систем. Во ова поглавје од магистерскиот труд ќе бидат разгледани различните распореди на работа на пумпите на водоснабдителниот систем на ЈП „Плаваја“ – Радовиш со цел да се

најде оној кој ќе обезбеди намалена потрошувачка на електрична енергија, како и намалени трошоци за одржување на пумпите.

Бидејќи во текот на зимскиот период, постои водоснабдување по гравитационен пат, ќе бидат разгледани само месеците во кои се врши вклучување на пумпите за да се обезбеди доволно количина на вода на жителите на Општина Радовиш. Зголемената потрошувачка на електрична енергија во текот на месеците од мај до ноември покажува дека во овој период се врши вклучување на двете пумпни станици.

За да се обезбеди намалување на трошоците за електрична енергија потребно е да се стави во функција резервоарот „Индустија“ т.е. наместо директно пумпање на водата до населените места Ињево, Воиславци, Сулдурци и Зона 3 од градот Радовиш, да се изврши нивно водоснабдување преку резервоарот „Индустија“. За таа цел потребно е негово полнење во текот на ноќните часови кога електричната енергија се наплаќа по евтина тарифа.

За да можеме да одредиме колкава е заштедата на електричната енергија со реализација на оваа мерка користиме реална симулација на системот во LabView на National Instruments. Графичкиот интерфејс е прикажан на Слика 27.



Слика 27: Графички интерфејс на симулацијата  
*Figure 27: Graphical interface for the simulation.*

Графичкиот интерфејс се состои од резервоар на кој има скала на која се означени вредностите за количината на вода. Вредностите за количината на вода во резервоарот по минути се дадени во претставениот график. Дополнително, прикажани се и сумите за потрошена електрична енергија за евтина и за скапа тарифа, како и вкупната сума за потрошена електрична енергија за времетраење на едно деноноќие.

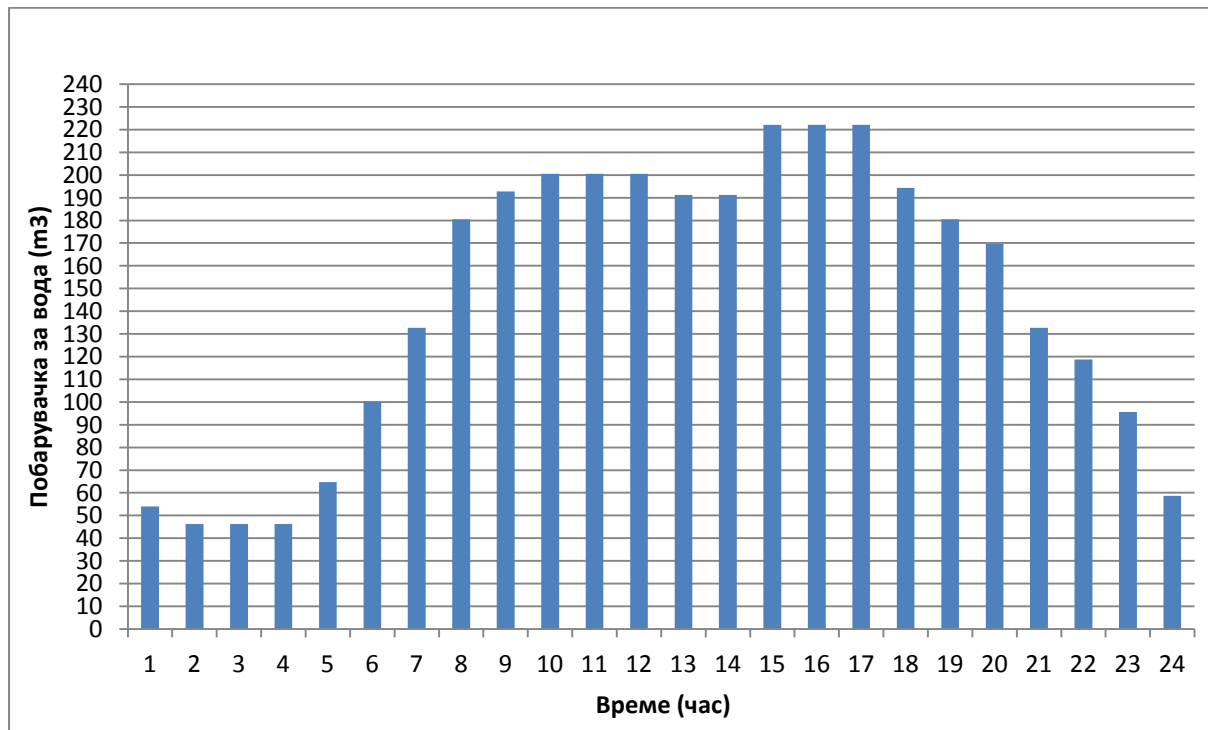
Табела 24: Предвидена максимална часовна потрошувачка за Зона 3 и населените места Воиславци, Сулдурци и Ињево  
*Table 24: Predicted maximum hourly consumption for Zone 3 and Voislavci, Suldurci and Injevo*

Час / Hour (h)	Потрошувачка/ Consumption (l/s)	Потрошувачка/ Consumption (m <sup>3</sup> /s)	Потрошувачка/ Consumption (m <sup>3</sup> /h)
1	14.9975	0.014998	53.991
2	12.855	0.012855	46.278
3	12.855	0.012855	46.278
4	12.855	0.012855	46.278
5	17.997	0.017997	64.7892
6	27.8525	0.027853	100.269
7	36.851	0.036851	132.6636
8	50.1345	0.050135	180.4842
9	53.5625	0.053563	192.825
10	55.705	0.055705	200.538
11	55.705	0.055705	200.538
12	55.705	0.055705	200.538
13	53.134	0.053134	191.2824
14	53.134	0.053134	191.2824
15	61.704	0.061704	222.1344
16	61.704	0.061704	222.1344
17	61.704	0.061704	222.1344
18	53.991	0.053991	194.3676
19	50.1345	0.050135	180.4842
20	47.135	0.047135	169.686
21	36.851	0.036851	132.6636
22	32.9945	0.032995	118.7802
23	26.567	0.026567	95.6412
24	16.283	0.016283	58.6188

За да може да се изврши реална симулација на системот потребно е да се сетираат потребните параметри за моторите, пумпите и капацитетот на

резервоарот. Што се однесува до количината на вода во резервоарот, при симулирањето поставуваме дополнителни ограничувачки параметри на оптимизационата функција преку дефинирање на минимална вредност од 200 m<sup>3</sup>. Тоа всушност значи дека во моментот кога количината на вода во резервоарот ќе биде еднаква или под 200 m<sup>3</sup>, оптимизираниот систем би требало автоматски да вклучи некоја од пумпите во пумпната станица „Индустија“ за да се отпочне со полнење на резервоарот.

Во Табела 24 е дадена „предвидената“ максималната часовна потрошувачка на вода за Зона 3 заедно со населените места Воиславци, Сулдурци и Ињево, која е пресметана врз основа на податокот добиен од математичкиот модел за среднодневната побарувачка за вода, како и историските податоци за часовната потрошувачка за вода. За оваа анализа ја разгледуваме само Зона 3 и населените места Воиславци, Сулдурци и Ињево бидејќи само овој дел од градот се водоснабдува со помош на пумпната станица „Индустија“, додека останатите потрошувачи се водоснабдуваат преку трите каптажи и преку пумпната станица Раклиш. На Слика 28 е прикажан графикот за дадените вредности.



Слика 28: Максимална часовна побарувачка на вода во Зона 3 и населените места Воиславци, Сулдурци и Ињево

*Figure 28: Maximum hourly water demand in Zone 3 and Voislavci, Suldurci and Injevo*

Овие вредности се влезни вредности за симулација на оптимизираниот систем на полнење и празнење на резервоарот и врз чија основа се реализира 24 часовна симулација на работата на системот. Во процесот на симулација, се симулираат следните параметри:

- количината на вода (ниво на вода) за секој час во резервоарот „Индустија“;
- функцијата на потрошувачка за електрична енергија за определената зона на снабдување во текот на едно деноноќие.



## **7. РЕЗУЛТАТИ**

Во оваа поглавје ќе биде направена анализа на придобивките од реализацијата на предложените мерки. Од направената анализа ќе може да се утврди дали и до кое ниво секоја од предложените мерки за оптимизација на режимот на работа на водоснабдителниот систем ќе резултира во исплатливо инвестирање со краток рок на отплата.

Најпрво да ги погледнеме техничките придобивки од реализација на предложените мерки.

### **7.1. Технички придобивки од реализацијата на предложените методи**

#### **7.1.1. Реорганизација на работата на пумпите**

Од направената анализа за референтната годишна потрошувачка на претпријатието дојдовме до заклучок дека во периодот од 2008, 2009 и 2010 година, претпријатието имало големи трошоци за електрична енергија последователно во сите месеци. Додека, по 2010 година претпријатието значително ги намалило трошоците за електрична енергија. Токму ваквата намалена потрошувачка на електрична енергија се должи на реорганизацијата на работата на пумпите т.е. исклучување на пумпите во текот на зимските месеци кога побарувачката на вода е многу помала и водоснабдување по гравитационен пат.

Со примената на овој метод, не само што е овозможено намалување на трошоците за електрична енергија, туку се овозможени и следниве технички придобивки:

- „ослободување“ на моторите и пумпите од непотребно оптоварување;
- зголемување на ефикасноста на моторите и пумпите;
- продолжување на нивниот работен век.

Главниот недостаток на овој метод е намалување на квалитетот на услугите за водоснабдување на жителите на Општина Радовиш, односно намален притисок и проток на вода во текот на летните месеци и постојано исти трошоци за водоснабдување.

### 7.1.2. Примена на кондензаторски батерии за компензација

Поради стабилноста на системот и постојаниот фактор на оптоварување, како и поради краткото растојание помеѓу пумпните станици и трафостаницата (помалку од 10 m), за системот на ЈП „Плаваја“ – Радовиш се предлага централна компензација. Според ваквиот начин на компензација, кондензаторските батерии би требало да бидат поставени на иста „линија“ со пумпните станици, и тоа веднаш до трансформаторот, со цел да се обезбеди доволно реактивна моќност за целиот систем.

Со примената на централната компензација, освен што ќе се овозможи намалување на трошоците за прекумерно користење на реактивна моќност, ќе се овозможи и **„ослободување“ на енергетскиот трансформатор од непотребно дополнително оптоварување**, со што би се овозможило:

- зголемување на неговата ефикасност;
- продолжување на неговиот работен век (ABB, 2010).

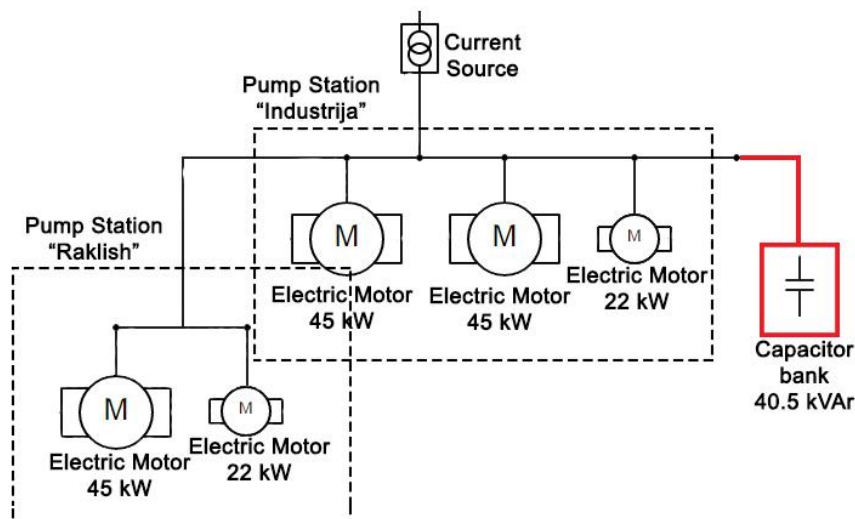
Главниот недостаток на централниот тип на компензација е тоа што реактивната струја, која е генерирана од кондензаторските батерии, ќе протекува низ каблите за напојување до пумпните станици со што ќе се добијат дополнителни загуби. Но, поради краткото растојание помеѓу трансформаторот и пумпните станици, може да се смета дека во пракса овие загуби ќе бидат незначителни.

Што се однесува до начинот на компензација на реактивната енергија во системот, од техничка гледна точка, доколку потребната реактивна моќност е помалку од 15% од вкупната инсталирана моќност на трансформаторот, тогаш најдобро е да се примени фиксна компензација, а доколку потребната реактивна моќност е поголема од 15%, тогаш подобро е да се применат автоматски-контролирани кондензаторски батерии. За пумпниот систем на ЈП „Плаваја“ – Радовиш вкупната реактивна моќност изнесува околу 16% од вкупно инсталираната моќност на трансформаторот која изнесува 250 kVA.

Дополнително, доколку се земат во предвид и инвестиционите трошоци и очекуваните придобивки, повторно може да се покаже дека за овој систем посоодветна би била фиксната компензација, пред сè поради ниските инвестициони трошоци и релативно ниското ниво на комплексност на системот, односно примената на автоматски-контролирани кондензаторски батерии би

биле премногу скапа инвестиција за овој систем. Согласно на тоа, сметаме дека централен систем на компензација би бил најприфатлив во овој случај, како од техничка така и од економска гледна точка.

На Слика 29 е прикажана шемата на двете пумпни станици на ЈП „Плаваја“ со додадената кондензаторска батерија за компензација на реактивната моќност. Применета е фиксна кондензаторска батерија со минимална моќност од 40.5 kVAr.



Слика 29: Шема на пумпните станици на ЈП „Плаваја“ со централна и фиксна компензација на реактивна моќност

*Figure 29: The scheme of the pump stations of PC Plavaja with central and fixed compensation of the reactive power*

### 7.1.3. Оптимизација на режимот на работа на пумпите во зависност од потребите и цените на електричната енергија

#### 7.1.3.1. Регулирање на количината на вода во резервоарот

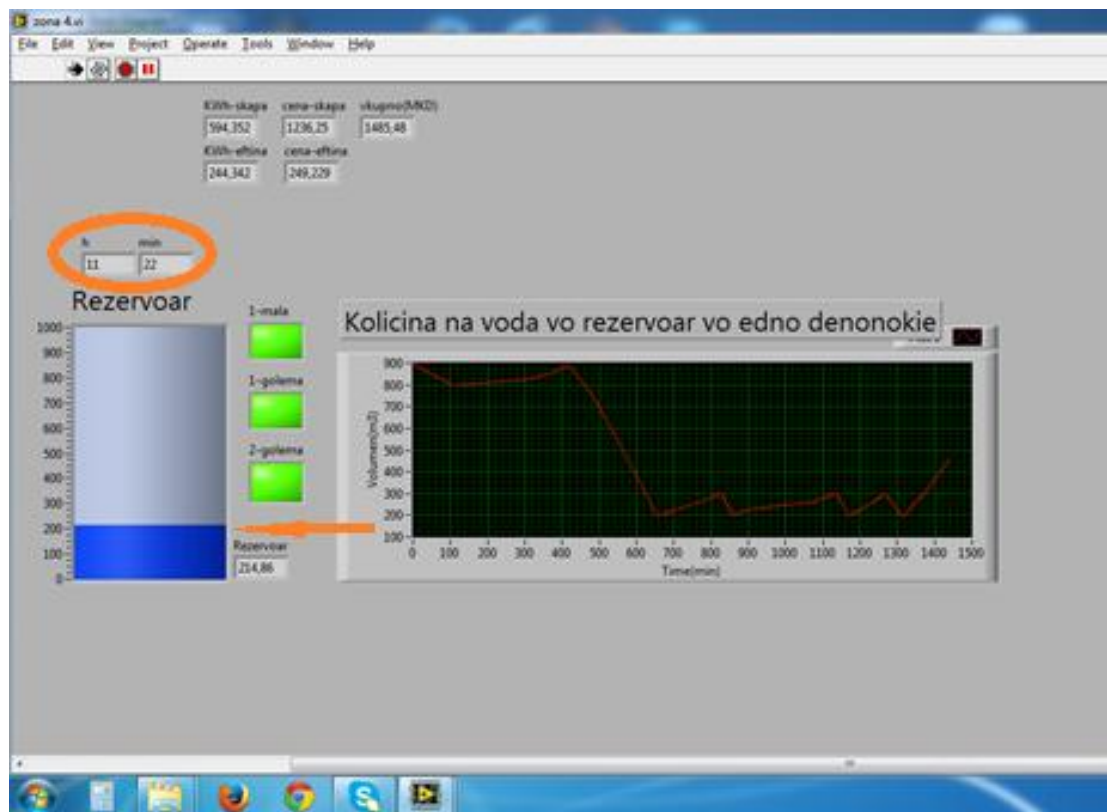
Според овој метод се прави оптимизација само на трошоците од аспект на самото претпријатие, при што првиот чекор од реализацијата на предложениот метод е ставање во употреба на резервоарот „Индустија“, што значи дека примената на резервоарот е земен во предвид во нашата симулација. Иницијално, поставена е горна граница за вредноста на неговиот капацитет од 900 m<sup>3</sup> и предвидено е негово полнење до ова максимално ниво во текот на ноќните часови.

Симулацијата е направена во два дела:

- за период од 07:00 до 22:00 часот, односно период на висока тарифа, односно висока цена на електричната енергија;

- за период од 22:00 до 07:00 часот, односно период на ниска тарифа, односно ниска цена на електричната енергија.

Најпрво ја разгледуваме состојбата за количината на водата во резервоарот во периодот од 22:00 до 07:00 часот (*кога потрошувачката на електрична енергија се наплаќа по евтина тарифа*). Предлагаме полнење на резервоарот „Индустија“ до максимално ниво во овој период од денот со цел да се користи водата од истиот во текот на денот, а пумпите воопшто да не се вклучуваат во текот на денот кога цената на електричната струја е двојно поголема од таа во текот на ноќта. Состојбата за количината на вода во резервоарот во моментот кога за првпат се вклучуваат пумпите во периодот на скапа тарфа е прикажана на Слика 30.



Слика 30: Состојба за количината на вода во резервоарот кога за првпат се пуштаат пумпите во скапа тарифа

*Figure 30: Condition for the amount of water in the reservoir when the pumps are turn on in expensive tariff for the first time*

Според добиените резултати од симулацијата (Слика 30) се гледа дека не е доволно резервоарот да се полни само во евтина тарифа т.е. со таков режим на работа на резервоарот, не можат во целост да се задоволат потребите за водоснабдување во текот на целиот ден. Односно, само неколку часа по 07:00

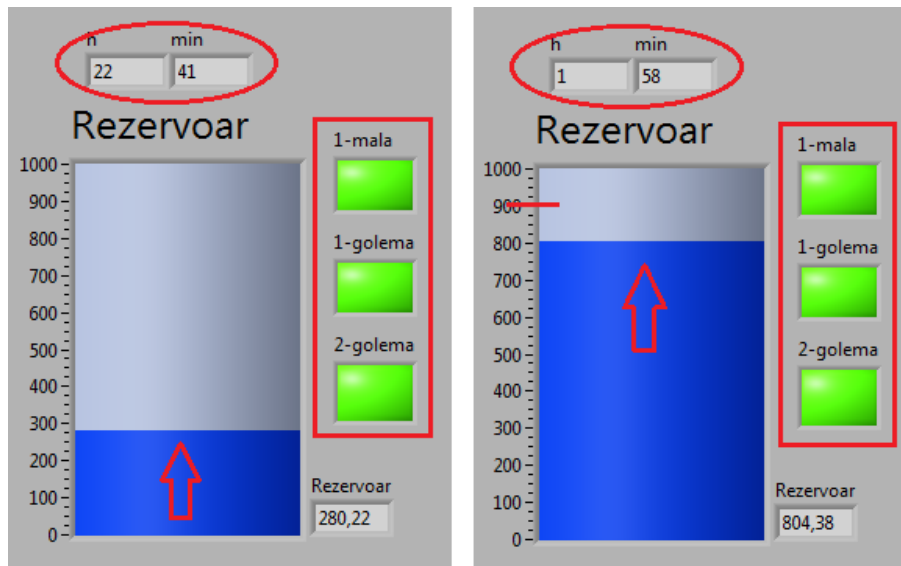
часот, количината на вода во резервоарот паѓа под минималната дозволена количина која иницијално ја поставивме на  $200 \text{ m}^3$  како безбедносно ниво на вода во резервоарот. **Тоа значи дека вклучувањето на пумпите во периодот од 07:00 до 22:00 часот е неизбежно.**

За периодот од 07:00 до 22:00 часот се разгледува побарувачката од вода и врз основа на истата се вклучуваат толку пумпи колку што е потребно за да се задоволат барањата за водоснабдување т.е бројот на вклучени пумпи зависи директно од побарувачката на вода. Дополнително, направен е хистерезис за вредности на количина на вода во резервоарот од „почетна“ до „крајна вредност“ (почетната и крајната вредност ги задаваме во симулацијата). Овој хистерезис е направен со цел да се избегне постојаното вклучување и исклучување на пумпите, односно без разлика на побарувачката за вода кога количината на вода е помеѓу „почетна“ и „крајна вредност“ да останат вклучени толку пумпи колку што е потребно за количината на вода во резервоарот да не падне под *почетната вредност*.

Со цел наоѓање на оптимални вредности за хистерезисот за овој период од денот вршиме сензитивна анализа преку разгледување на три случаи за долна и горна вредност на хистерезисот, и тоа:

- $200 \text{ m}^3$  и  $300 \text{ m}^3$ ;
- $200 \text{ m}^3$  и  $500 \text{ m}^3$ ;
- $200 \text{ m}^3$  и  $900 \text{ m}^3$ .

За вториот дел од симулацијата т.е за периодот од 22:00 до 07:00 часот, се поставени други параметри во симулацијата. Веднаш по 22:00 часот, се вклучуваат сите три пумпи со цел резервоарот да се наполни до максимално ниво. Оваа состојба на резервоарот е прикажана на Слика 31.



Слика 31: Состојба на резервоарот по 22:00 часот  
*Figure 31: Condition of the reservoir after 22:00 h.*

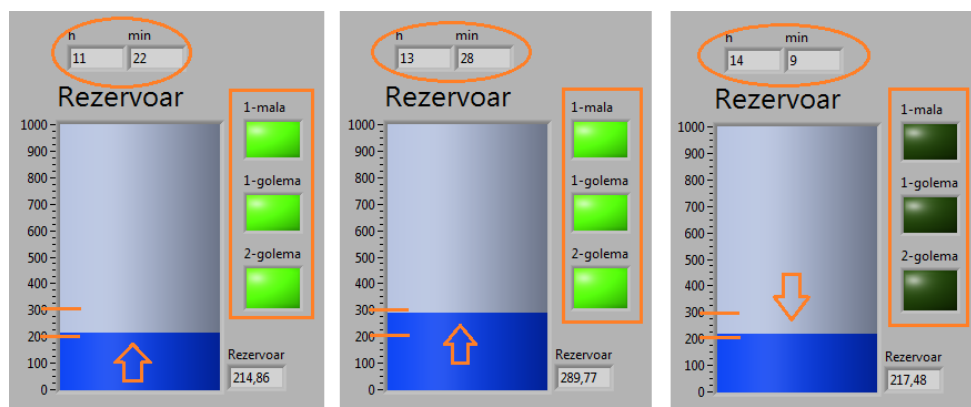
Крајната вредност на хистерезисот за количината на вода во резервоарот за овој период од денот е поставен на 900 m<sup>3</sup>. Тоа е направено со цел резервоарот да биде максимално полн по завршувањето на евтината тарифа. Примената на хистерезисот и во овој случај е од истата причина т.е да се избегне постојаното вклучување/исклучување на пумпите.

Со цел наоѓање на оптимални вредности за хистерезисот за овој период од денот повторно вршиме сензитивна анализа преку разгледување на три различни случаи за долна и горна вредност на хистерезисот:

- 800 m<sup>3</sup> и 900 m<sup>3</sup>;
- 500 m<sup>3</sup> и 900 m<sup>3</sup>;
- 300 m<sup>3</sup> и 900 m<sup>3</sup>.

Резултатите од симулацијата се дадени во продолжение:

- **Хистерезис: 200 m<sup>3</sup> и 300 m<sup>3</sup> (07:00 - 22:00) и 800 m<sup>3</sup> и 900 m<sup>3</sup> (22:00 - 07:00):** На Слика 32 е прикажана состојбата за количина на вода во резервоарот и состојбата за работата на пумпите во периодот кога количината на вода доаѓа до минималната дозволена количина од 200 m<sup>3</sup>.

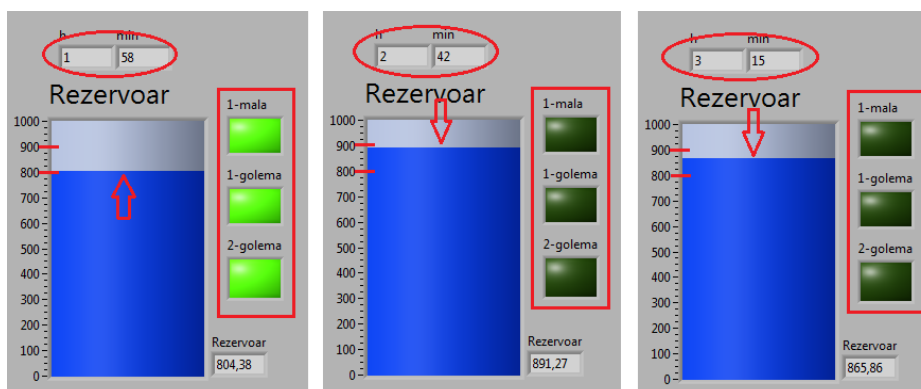


Слика 32: Симулација за периодот од 07:00 до 22:00 часот  
*Figure 32: Simulation for the period from 07:00 to 22:00 pm.*

Од сликите може да се забележи дека максималната количина на вода во резервоарот во периодот од 07:00 до 22:00 часот е  $300 \text{ m}^3$  и дека пумпите се вклучуваат кога количината на вода во резервоарот ќе падне под  $200 \text{ m}^3$ .

Што се однесува за вториот дел од симулацијата, максималното количина на вода во резервоарот во периодот од 22:00 до 07:00 часот е  $900 \text{ m}^3$ , пумпите се вклучуваат кога количината на вода во резервоарот ќе падне под  $800 \text{ m}^3$ .

Дел од состојбата за количина на вода во резервоарот и состојбата за работата на пумпите во периодот од 22:00 до 07:00 часот е прикажана на Слика 33.



Слика 33: Симулација за периодот од 22:00 до 07:00 часот  
*Figure 33: Simulation for the period from 22:00 to 07:00 pm*

Врз основа на извршената симулација, за овие вредности на двата хистерезиса за двата дела од симулацијата е добиено дека претпријатието за едно деноноќие ќе потроши  $595 \text{ kWh}$  во скапа и  $244$

kWh во евтина тарифа, односно 1.933 **МКД** и 388 **МКД** или вкупно 2.321 **МКД**.

- **Хистерезис: 200 m<sup>3</sup> и 300 m<sup>3</sup> (07:00-22:00) и 500 m<sup>3</sup> и 900 m<sup>3</sup> (22:00-07:00):** претпријатието за едно деноноќие ќе потроши 717 kWh во скапа и 137 kWh во евтина тарифа, односно 2.332 **МКД** и 217 **МКД** или вкупно 2.549 **МКД**.
- **Хистерезис: 200 m<sup>3</sup> и 300 m<sup>3</sup> (07:00-22:00) и 300 m<sup>3</sup> и 900 m<sup>3</sup> (22:00-07:00):** претпријатието за едно деноноќие ќе потроши 722 kWh во скапа и 132 kWh во евтина тарифа, односно 2.347 **МКД** и 210 **МКД** или вкупно 2.557 **МКД**.
- **Хистерезис: 200 m<sup>3</sup> и 500 m<sup>3</sup> (07:00-22:00) и 800 m<sup>3</sup> и 900 m<sup>3</sup> (22:00-07:00):** претпријатието за едно деноноќие ќе потроши 606 kWh во скапа и 244 kWh во евтина тарифа, односно 1.969 **МКД** и 388 **МКД** или вкупно 2.357 **МКД**.
- **Хистерезис: 200 m<sup>3</sup> и 500 m<sup>3</sup> (07:00-22:00) и 500 m<sup>3</sup> и 900 m<sup>3</sup> (22:00-07:00):** претпријатието за едно деноноќие ќе потроши 716 kWh во скапа и 137 kWh во евтина тарифа, односно 2.328 **МКД** и 217 **МКД** или вкупно 2.545 **МКД**.
- **Хистерезис: 200 m<sup>3</sup> и 500 m<sup>3</sup> (07:00-22:00) и 300 m<sup>3</sup> и 900 m<sup>3</sup> (22:00-07:00):** претпријатието за едно деноноќие ќе потроши 721 kWh во скапа и 132 kWh во евтина тарифа, односно 2.343 **МКД** и 210 **МКД** или вкупно 2.553 **МКД**.
- **Хистерезис: 200 m<sup>3</sup> и 900 m<sup>3</sup> (07:00-22:00) и 800 m<sup>3</sup> и 900 m<sup>3</sup> (22:00-07:00):** претпријатието за едно деноноќие ќе потроши 720 kWh во скапа и 241 kWh во евтина тарифа, односно 2.338 **МКД** и 383 **МКД** или вкупно 2.721 **МКД**.



- **Хистерезис: 200 m<sup>3</sup> и 900 m<sup>3</sup> (07:00-22:00) и 500 m<sup>3</sup> и 900 m<sup>3</sup> (22:00-07:00):** претпријатието за едно деноноќие ќе потроши 846 kWh во скапа и 101 kWh во евтина тарифа, односно 2.750 **МКД** и 160 **МКД** или вкупно 2.910 **МКД**.
- **Хистерезис: 200 m<sup>3</sup> и 900 m<sup>3</sup> (07:00-22:00) и 300 m<sup>3</sup> и 900 m<sup>3</sup> (22:00-07:00) :** претпријатието за едно деноноќие ќе потроши 855 kWh во скапа и 91 kWh во евтина тарифа, односно 2.778 **МКД** и 145 **МКД** или вкупно 2.923 **МКД**.

Во Табела 25 се прикажани резултатите од направената симулација т.е. колку парични средства претпријатието би потрошило доколку го реализира предложениот метод.

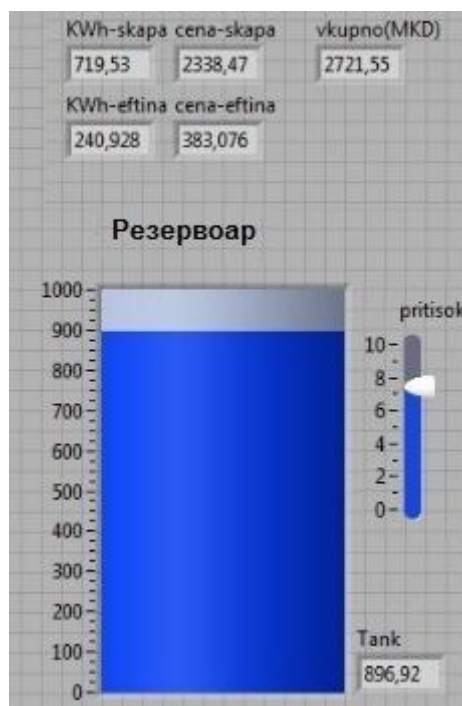
Табела 25: Трошоци за различни вредности на двата хистерезиса  
*Table 25: Total amount paid for different values of the hysteresis*

Хистерезис:		07:00-22:00 ч.		
		200 m <sup>3</sup> и 300 m <sup>3</sup>	200 m <sup>3</sup> и 500 m <sup>3</sup>	200 m <sup>3</sup> и 900 m <sup>3</sup>
22:00-07:00 ч.	800 m <sup>3</sup> и 900 m <sup>3</sup>	2.321 МКД	2.357 МКД	2.721 МКД
	500 m <sup>3</sup> и 900 m <sup>3</sup>	2.549 МКД	2.454 МКД	2.910 МКД
	300 m <sup>3</sup> и 900 m <sup>3</sup>	2.557 МКД	2.553 МКД	2.923 МКД

#### 7.1.3.2. Регулирање на притисокот

Според овој метод се предвидува вклучување на притисокот во системот и анализа на резултатите. Според тоа, не само што ќе се направи оптимизација на трошоците од аспект на самото претпријатие, туку и ќе се направи регулирање на параметарот „**квалитет на водоснабдување**“ што значи дека и самите потрошувачи ќе бидат вклучени во оваа анализа. Тоа значи дека никогаш нема да има притисок под нормалната вредност за притисок кај водоснабдувањето кој изнесува 5-6 bar. (*Water Supply 2014*).

За таа цел повторно е направена симулација во LabView. Дел од интерфејсот на кој е прикажана состојбата за количината на вода во резервоарот и потрошената електрична енергија е прикажан на Слика 34.



Слика 34: Дел од интерфејсот за состојбата за количината на вода во резервоарот по симулацијата

*Figure 34: Part of the interface where the reservoir condition after the simulation is shown.*

Повторно се прави анализа само за летните месеци бидејќи во тој период од годината се вклучени пумпите. Според податоците за вредностите на притисоците за различните периоди и различните делови од градот добиени од ЈП „Плаваја“ – Радовиш е направена симулација со следниве карактеристики:

- вклучувањето на пумпите започнува по 22:00 часот со цел да се наполни целосно резервоарот, без притоа да се разгледуваат притисоците;
- за вториот дел од симулацијата (од 22:00 до 07:00 часот) е поставен хистерезис со почетна и крајна вредност за количина на вода во резервоарот од  $800 \text{ m}^3$  и  $900 \text{ m}^3$ , што значи дека вредноста за количина на вода во резервоарот во текот на ноќта да не биде под  $800 \text{ m}^3$ , односно во 07:00 часот (кога започнува тарифирањето по повисока цена) во резервоарот да има минимум  $800 \text{ m}^3$  вода;
- за првиот дел од симулацијата (од 07:00 до 22:00 часот) поставуваме хистерезис од  $200 \text{ m}^3$  до  $900 \text{ m}^3$ , додека пак притисокот „го одржуваме“ на нормалната зададена вредност за притисок кај водоснабдителните системи со вредност од 5 bar. Според добиените

податоци, притисокот кај водоснабдителниот систем на ЈП „Плаваја“ – Радовиш е под нормалната вредност во текот на летните месеци и тоа од 17:00 до 22:00 часот. Тоа значи дека, за постигнување на нормалниот притисок од 5 bar потребно е вклучување на повеќе пумпи со цел полнење на резервоарот.

Од направената симулација, добиено е дека за 24 часа, претпријатието ќе потроши 720 kWh во скапа и 241 kWh во евтина тарифа, односно 2.338 **МКД** и 383 **МКД** или вкупно 2.721 **МКД**.

#### **7.1.3.3. Регулирање на количината на вода во резервоарот и на притисокот**

Според овој метод повторно се врши вклучувањето на пумпите по 22:00 часот со цел да се наполни целосно резервоарот, без притоа да се разгледува притисокот бидејќи во тој период од денот тој е над нормалната вредност. Што се однесува до двата хистерезиса (*за двата дела од симулацијата*) истите ги поставуваме на вредности за кои во поглавје 7.1.3.1 добивме дека се оптимални, односно:

- за периодот од 07:00 до 22:00 часот поставуваме 200 m<sup>3</sup> и 300 m<sup>3</sup> додека за периодот од 22:00 до 07:00 часот поставуваме 800 m<sup>3</sup> и 900 m<sup>3</sup>;
- притисокот „го одржуваме“ на нормалната зададена вредност за притисок кај водоснабдителните системи, односно на вредност од минимум 5 bar. Како што беше спомнато претходно притисокот кај водоснабдителниот систем на ЈП „Плаваја“ – Радовиш е под нормалната вредност во текот на летните месеци и тоа од 17:00 до 22:00 часот.

Од направената симулација, добиено е дека за 24 часа, претпријатието ќе потроши 685 kWh во скапа и 244 kWh во евтина тарифа, односно 2.226 **МКД** и 388 **МКД** или вкупно 2.614 **МКД**.

За реализација на овие мерки за зголемување на енергетската ефикасност на водоснабдителниот систем на ЈП „Плаваја“ – Радовиш потребна е изработката на компјутерски SCADA систем за контрола, набљудување и управување со системот за подготовка и испорака на вода. Процесот кој ние го

разгледуваме има можност да биде автоматизиран што значи дека е погоден за примена на SCADA систем.

За таа цел потребна е набавка на сензори за ниво, комуникациски канали и компјутерски систем за обработка на податоците. Сензорите би требало да се постават во резервоарот „Индустија“ така што ќе вршат прибирање на податоците за моменталната количина на вода во резервоарот. Добиените податоци во дигитализирана форма ќе се пренесуваат преку комуникациските канали до компјутерскиот систем кој ќе служи за обработка на добиените податоци и за издавање наредби за вклучување/исклучување на пумпите.

Со вградување на SCADA систем за мониторинг и управување во ЈП „Плаваја“ - Радовиш освен што ќе се овозможи зголемена енергетска ефикасност на системот, ќе се постигне и:

- континуиран мониторинг на системот;
- ефикасно управување;
- заштеда на трошоците за одржување;
- пократко време за детектирање и коригирање на дефектите и сл.

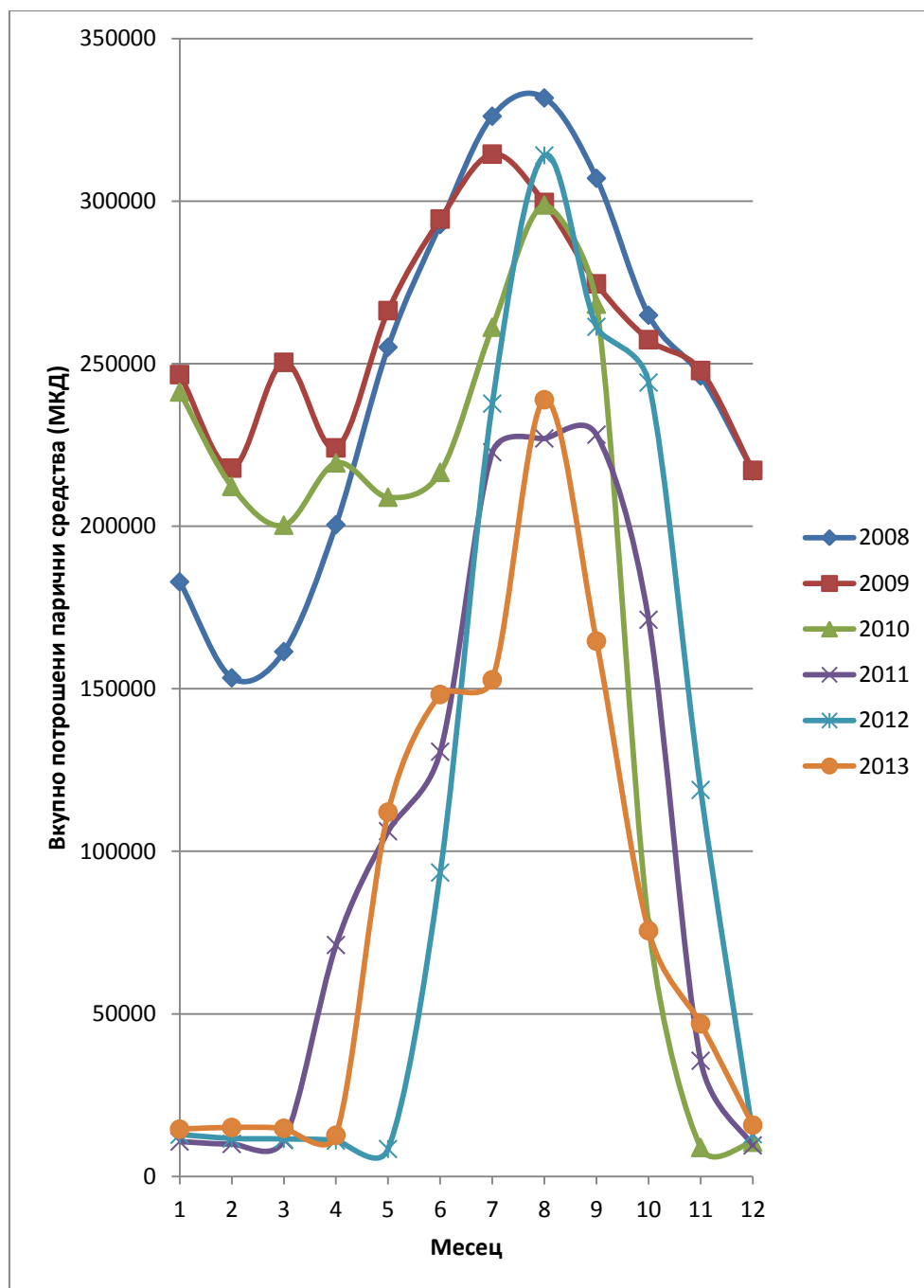
Графиците за потрошените парични средства за моменталната состојба и за состојбата по реализацијата на предложената мерка, вредноста на инвестицијата, како и анализата за економската исплатливост на предложената мерка се дадени во поглавје 7.2.3.

## **7.2. Финансиски придобивки од реализацијата на предложените методи**

Проценката на трошоците за опрема, работи и услуги, како и анализа на енергетскиот биланс при реализација на предложените методи, односно дефинирање на инвестиционата вредност и очекуваната заштеда, како и времето на поврат на инвестицијата за секоја од мерките се дадени во продолжение.

### **7.2.1. Реорганизација на работата на пумпите**

За да се направи анализа на трошоците пред и по имплементацијата на овој метод, на Слика 35 е прикажан график за вкупниот износ за потрошена електрична енергија и моќност по месеци за сите 6 години.



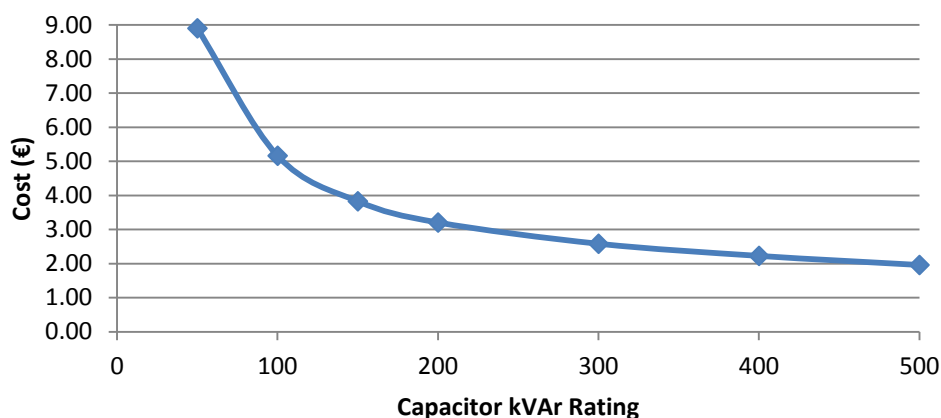
Слика 35: Вкупен износ за потрошена електрична енергија и моќност по месеци за сите 6 години

Figure 35: Total amount of electricity and power for the all 6 years.

Од графикот може да се забележи дека постои значително намалување на трошоците за електрична енергија по 2010 г., особено во зимските месеци поради гравитационото водоснабдување на градот. Ако се земат во предвид дека за реализација на оваа мерка нема инвестициони трошоци и дека постои заштеда од околу 67.5%, можеме да констатираме дека станува збор за економски исплатлива мерка.

### 7.2.2. Примена на кондензаторски батерии за компензација

На Слика 36 е прикажана просечната цена по kVAr за опрема за компензација од различни производители (*Schneider Electric, 2013*), според која може приближно да се проценат трошоците потребни за набавка и монтажа на кондензаторски батерии за разгледуваниот систем.



Слика 36: Просечна цена по kVAr за опрема за компензација од различни производители

*Figure 36: The average price per kVAr compensation equipment from different manufacturers.*

Во Табелата 26 се сумирани резултатите од претходно направените пресметки за потребната количина на реактивна моќност за сите пет мотори кои ги сочинуваат двете пумпни станици.

Табела 26: Потребни средства за обезбедување на компензација  
*Table 26: Required funds for providing the compensation.*

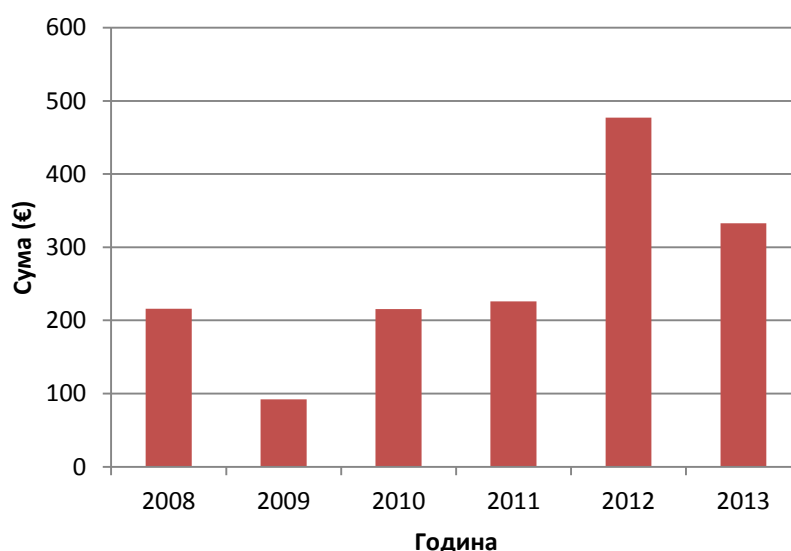
Број на ел.мотори / Number of el. motors	kVAr по ел.мотор/ kVAr per el. motor	Вкупно kVAr/ Total kVAr	Цена по kVAr(€) / Price per kVAr (€)	Вкупно (€) / Total (€)
3	4,9	14,7	8.06	118.5
2	12,9	25,8	8.06	208
				<b>326.5</b>

Од табелата може да се забележи дека за реализација на компензацијата до фактор на моќност  $\cos \varphi = 0.96$  ќе биде потребна реактивна моќност од **40.5 kVAr**. За потребните **40.5 kVAr** реактивна моќност, би требало да се земе во предвид цената на чинење за опрема за **50 kVAr**, што значи дека

цената на чинење за опремата за компензација за конкретниот систем е **8.89 €** односно **547 МКД** по **kVar**.

Вкупните финансиски средства кои се потрошени за реактивната моќност за период од 2008 до 2013 (Слика 37) година изнесуваат 95.908 мкд = 1.559 €, т.е просечно 259.83 € годишно, додека вкупната инвестиција за нарачка на предложената опрема за компензација и за реализација на истата е 326.5 €. Ова е само еден показател за големата исплатливост на оваа инвестиција, што според дадените податоци, вкупната инвестиција за кондензаторски батерии ќе се отплати за период од околу 1 година и 3 месеци.

Ако се направи споредба на трошоците за реактивна моќност во однос на вкупните трошоци, може да се забележи дека со реализација на предложениот метод претпријатието би заштедило најмалку 1.7% од вкупните трошоци за електрична енергија.



Слика 37: Сума платена за реактивна моќност од електричната мрежа за период од 2008 до 2013 година

*Figure 37: Total amount paid for reactive power for a period from 2008 to 2013.*

### 7.2.3. Оптимизацијата на режимот на работа на пумпите

За да се одреди економската исплатливост на предложениот метод направена е анализа на трошоците за електрична енергија во 2013 година. За анализа се земени месец април, кога градот се водоснабдува по гравитационен пат т.е. кога не постои активирање на пумпните станици и месец август кога има максимална потрошувачка на вода и кога Зона 3 и населените

места Воиславци, Сулдурци и Ињево се водоснабдуваат преку пумпната станица „Индустија“. Овие податоци се сумирани во табелата 27.

Табела 27: Потрошени парични средства за електрична енергија во април и август, 2013 г.

*Table 27: Spent money for the electricity in April and August, 2013 year.*

<b>Месец / Month</b>	<b>Потрошени парични средства за електрична енергија (МКД) / Spent money for the electricity (MKD)</b>
<b>Април / April</b>	<b>10 357</b>
<b>Август / August</b>	<b>232 226</b>

Бидејќи април е месец во кој не се врши вклучување на пумпите, а според податоците од табелата може да се одреди колку од вкупните трошоци во август се трошоци за погонување на пумпите од двете пумпни станици. Соодветно, може да се пресмета дека вкупно 221 869 МКД се трошат за погонување на пумпите при максимална побарувачка на вода во Општината.

Среднодневната потрошувачка на вода за 2013 година е прикажана во Табела 11, според која е одредено дека вкупно 2 226 m<sup>3</sup> отпаѓа на Зона 3 заедно со индустријата и населените места Воиславци, Сулдурци и Ињево, а 153 m<sup>3</sup> на Раклиш. Според овој податок, за средната месечна потрошувачка за Зона 3 заедно со индустријата и населените места Воиславци, Сулдурци и Ињево се добива вредност 66 780 m<sup>3</sup>, и за Раклиш 4 530 m<sup>3</sup>. Сите овие податоци се прикажани во Табела 28.

Табела 28: Количина на потрошена вода во Општина Радовиш

*Table 28: Amount of the water consumed in Radovich*

	<b>Зона 3 + населени места</b>	<b>Раклиш</b>	<b>Вкупно</b>
<b>Месечна потрошувачка</b>	66 780 m <sup>3</sup>	4 530 m <sup>3</sup>	<b>71 310 m<sup>3</sup></b>
<b>Трошоци</b>	207 669 МКД	14 200 МКД	<b>221 869 МКД</b>
<b>Извор:</b> Снабдување со вода за пиење и одведување на урбани и отпадни води во Општина Радовиш 2013 година – ЈП “Плаваја” јануари 2014 година <b>Source:</b> Suppling with drinking water and sanitation for the urban wastewater for Municipality of Radovich 2013 year - PC Plavaja, January 2014			

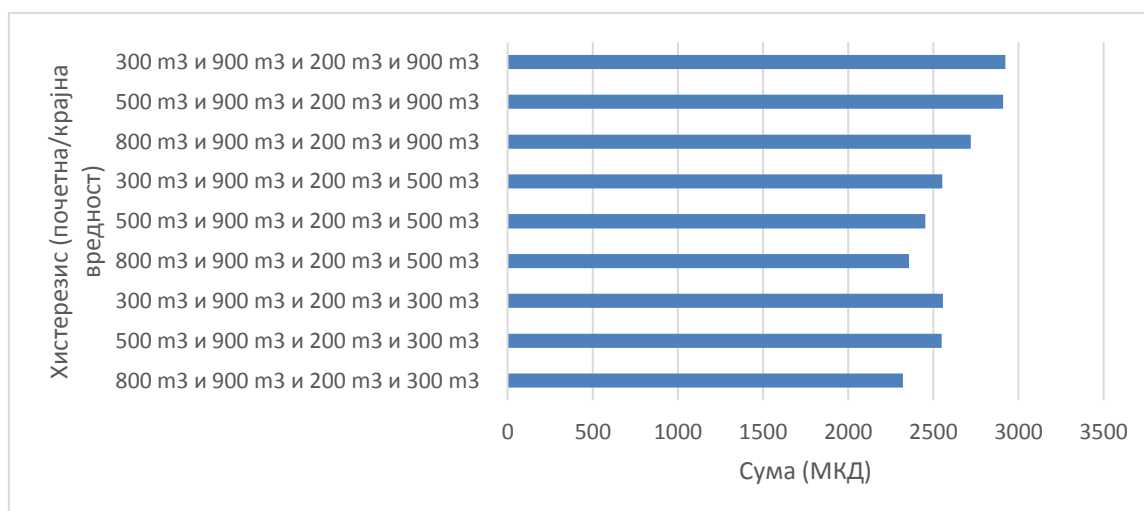
Со помош на симулацијата се добиени и вредностите за потрошена сума за електрична енергија за 24 часа. Според цената за електрична енергија во



евтина и скапа тарифа како и вредностите за побарувачката на вода, при регулирање на претходно споменатите параметри се добиваат следниве податоци:

#### 7.2.3.1. Регулирање на количината на вода во резервоарот

Во случај кога се врши регулирање само на еден параметар (*количина на вода во резервоарот*) се добиваат вредности кои се прикажани во Табела 25, а се сумирани во графикот на Слика 38.



Слика 38: Трошоци за различни вредности на двата хистерезиса  
*Figure 38: Total amount paid for different values of the hysteresis.*

Од графикот може да се забележи дека најмала потрошувачка на електрична енергија би имало кога вредностите на хистерезисот од 07:00 до 22:00 часот би биле 200 m³ и 300 m³, а додека пак за периодот од 22:00 до 07:00 би биле 800 m³ и 900 m³.

Во ваков случај претпријатието за погонување на пумпите од пумпната станица „Индустија“ дневно би потрошило **2.321 МКД** т.е 69 630 МКД вкупно за просечен месец од 30 работни денови.

Ако се направи споредба на трошоците од симулираната и реалната состоја ќе се добие дека ќе се заштедат најмалку 138 039 МКД т.е. 2 244 € во месеците со максимална потрошувачка на електрична енергија. Тоа значи дека доколку се примени овој метод трошоците во летните месеци може да се намалат дури за 66.5%.

#### 7.2.3.2. Регулирање на притисокот

Во овој случај притисокот „го одржуваме“ на нормалната зададена вредност за притисок кај водоснабдителните системи 5 bar, без притоа да се води сметка за количината на вода во резервоарот, добиено е дека за 24 часа, претпријатието ќе потроши 720 kWh во скапа и 241 kWh во евтина тарифа, односно 2.338 МКД и 383 МКД или вкупно **2.721 МКД**, или за месец од 30 денови ќе се потрошат 81 630 МКД.

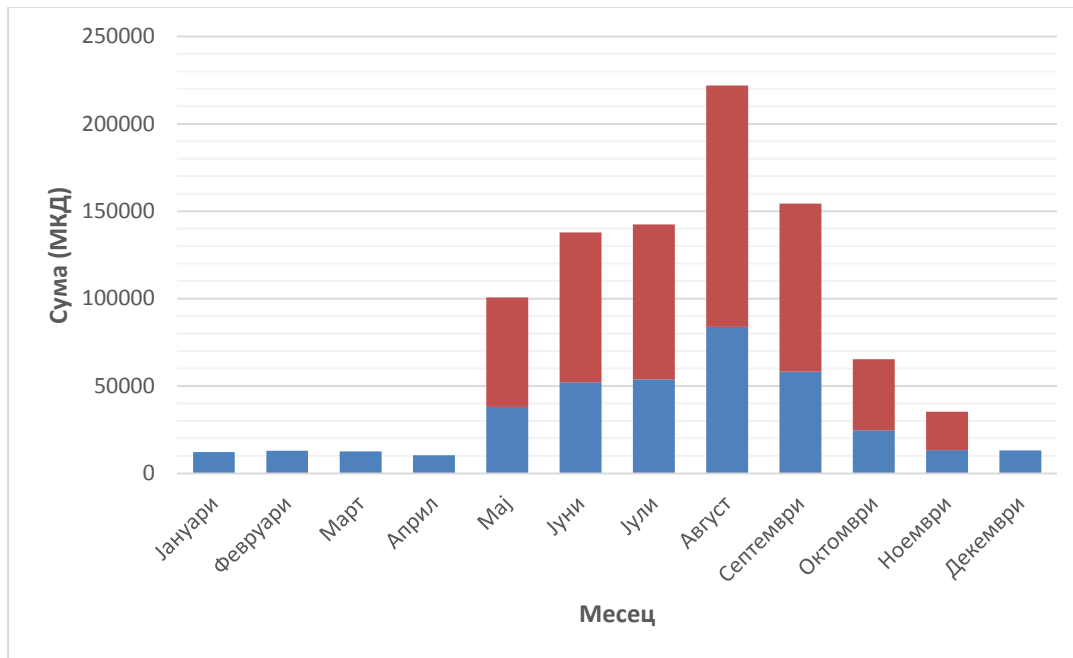
Ако се направи споредба на трошоците од симулираната и реалната состоја ќе се добие дека со примена на овој метод ќе се заштедат најмалку 126 039 МКД т.е 2 049 € во месеците со максимална потрошувачка на електрична енергија. Тоа значи дека доколку се примени овој метод трошоците во летните месеци може да се намалат дури за 61%.

#### 7.2.3.3. Регулирање на количината на вода во резервоарот и на притисокот

Што се однесува до случајот кога се регулираат двата параметри во системот, количина на вода во резервоарот и притисок т.е кога се обезбедува висок квалитет на водоснабдување се добива дека за 24 часа, претпријатието ќе потроши 685 kWh во скапа и 244 kWh во евтина тарифа, односно 2.226 МКД и 388 МКД или вкупно **2.614 МКД**. За просечен месец од 30 работни денови ќе се добие сума од 78 420 МКД.

Ако се направи споредба на трошоците од симулираната и реалната состоја ќе се добие дека ќе се заштедат најмалку 129 249 МКД т.е 2 101 € во летните месеци во кои всушност постои максимална потрошувачка на електрична енергија. Значи, доколку се примени овој метод, трошоците во летните месеци може да се намалат дури за 62.24%.

Според направените симулации и анализата на добиените резултати дојдовме до заклучок дека најголеми заштеди на електрична енергија ќе има во случај кога би се вршела оптимизација на режимот на работа на пумпите од пумпната станица „Индустија“ со регулирање на параметарот *количина на вода во резервоарот*. Заштедата по месеци која би се добила со имплементација на овој метод е дадена во графикот на Слика 39.

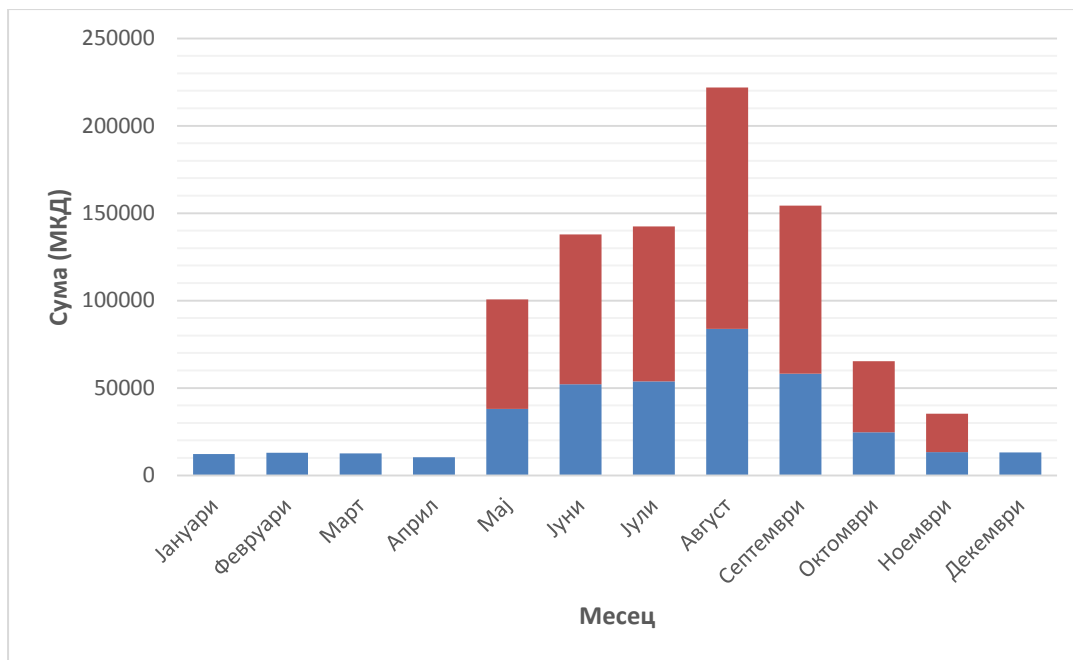


Слика 39: Заштеда по месеци со реализација на предложениот метод  
*Figure 39: Total amount saving per one year after the implementation of the proposed method.*

На графикот со црвена боја се прикажани сумите по месеци кои ќе ги заштеди претпријатието доколку се одлучи да го реализира предложениот метод. Од графикот може да се забележи дека на годишно ниво со примена на овој метод на оптимизација на работата на пумпите само во текот на денот и ноќта претпријатието може да заштеди околу 570 415 МКД т.е околу 9 275 €.

Сепак, како што беше спомнато, овде не се води сметка за квалитетот на водоснабдителната услуга, т.е во текот на летниот период се случува корисниците да добиваат вода со слаб притисок (под 5 bar). Затоа, предложениот метод според кој освен регулирање на количината на водата во резервоарот се врши и регулирање на притисокот би било поидеално, како за компанијата која врши водоснабдување така и за сите потрошувачи на вода.

Заштедата по месеци која би се добила со имплементација на овој метод е дадена во графикот на Слика 40.



Слика 40: Заштеда по месеци со реализација на предложениот метод  
 Figure 40: Total amount saving per one year after the implementation of the proposed method.

Од графикот може да се забележи дека на годишно ниво со примена на овој метод претпријатието може да заштеди 533 874 МКД т.е околу 8 681 €.

Вкупната сума за нарачка на предложената опрема за SCADA системот и за реализација на истиот е прикажана во Табела 29.

Табела 29: Трошоци за нарачка на SCADA систем  
 Table 29: Total amount paid for SCADA system

	Опис на работите	Количина	Единечна цена (€)	Вкупна цена (€)
1.	Регулатор за мотор (45kW)	1	6 500	6 500
2.	Регулатор за мотор (22kW)	2	3 300	6 600
3.	Сензор за ниво	1	2 000	2 000
4.	Вентил (Ф250)	1	4 000	4 000
5.	Вентил (Ф80)	1	2 600	2 600
			<b>Вкупно:</b>	<b>21 700</b>

Со сумирање на сите трошоци доаѓаме до заклучок дека за оваа инвестиција се потребни **21 700 €** и ќе се отплати за период од **2.3 години** доколку се применува методот на регулирање само на количина на вода во резервоар, т.е. **2.5 години** доколку се регулираат двата параметри, количина на вода во резервоар и притисок.

### **7.3. Ранг-листа на приоритетни методи**

За реализација на предложените методи е изготвен предлог динамички план врз база на усвоена методологија на рангирање на методите. Рангирањето на истите е направено според состојбата и исплатливоста.

Според поглавје 7.2 во кое се прикажани финансиските придобивки за секоја од предложените мерки и сумата потребна за реализација предлагаме:

1. Усовршување на методот на зонско водоснабдување на градот со цел подобрување на квалитетот на водоснабдителните услуги на корисниците.
2. Купување на опрема за компензација на реактивната енергија и со тоа за елиминирање на финансиските трошоци за набавка на истата од дистрибутивната мрежа.
3. „Активирање“ на резервоарот „Индустија“.
4. Инвестирање во SCADA систем за мониторинг и управување на количината на вода во резервоарот со цел оптимизирање на режимот на работа на пумпите во зависност од потребите и цените на електрична енергија.

## 8. ЗАКЛУЧОК

Во овој магистерски труд е дадена анализа на можностите за зголемување на енергетската ефикасност на еден конкретен водоснабдителен систем и негова оптимизација во смисла на намалување на трошоците за електрична енергија и подобрување на квалитетот на услугите. Анализа на трошоците е дадена за потрошената електричната енергија и финансиските издатоци за овие трошоци за периодот пред и по воведувањето на зонско водоснабдување, со што е покажано дека со воведувањето на гравитационо водоснабдување во текот на зимскиот период трошоците за електрична енергија се намалени за **67.5%**.

Со предложениот метод кој се состои во набавка на кондензаторски батерии за компензација, пресметано е дополнително намалување на трошоците за набавка на реактивна енергијата кои претпријатието ги плаќа веќе неколку години. За реализацијата на овој метод потребна е набавка на соодветна опрема за компензација на реактивната енергија чија цена е многу ниска и може да се отплати за 1 година и 3 месеци, а се добива заштеда од **1.7%** од вкупните трошоци за електрична енергија.

Што се однесува до оптимизацијата на режимот на работа на пумпните станици, за конкретниот водоснабдителен систем искористен е програмскиот пакет LabView на National Instruments, со чија помош е направена симулација на постојната состојба со користење на реални податоци добиени од самата водоснабдителна компанија. Компјутерската симулација и оптимизација на работните режими покажува дека значително зголемување на енергетската ефикасност може да се постигне со активирање на резервоарот „Индустија“ и вклучување на пумпните станици за полнење до максимално ниво во ноќните часови кога цената на електричната енергија се наплаќа по евтина тарифа и полнење само до одредено ниво во текот на денот. Оптимизација на горното и долното ниво на вода во резервоарот е реализирана земајќи ја цената на потрошената електрична енергија во текот на едно деноноќие како основен критериум за оптимизација. При тоа, како оптимално решение се добива случајот кога во текот на ноќниот период горното и долното ниво на вода во резервоарот е  $800 \text{ m}^3$  и  $900 \text{ m}^3$ , додека во дневниот период е  $200 \text{ m}^3$  и  $300 \text{ m}^3$ ,

што резултира со минимални (оптимални) дневни трошоци за електрична енергија од само 2.321 МКД. Доколку се примени ваков оптимален режим на работа на пумпните станици во содејство со веќе постоечкиот воден резервоар „Индустија“, симулацијата покажува дека компанијата на годишно ниво може да заштеди и до 138 039 МКД т.е 2 244 € во месеците со максимална потрошувачка на електрична енергија, односно, да ги редуцира сегашните трошоци за електрична енергија за **66.5%**.

Имајќи предвид дека водоснабдителната компанија покрај потребата од оптимално користење на ресурсите и намалување на трошоците во работењето, има задача да го реализира водоснабдувањето на сите потрошувачи со определен квалитет на водата во смисла на притисок на водата не помал од 5 bar во текот на целата година, симулацијата и оптимизацијата на работниот режим беше проширена дополнително со внесување на додатен ограничувачки критериум – вредноста на притисокот на водата во системот да не биде помала од 5 bar за сите потрошувачи приклучени на системот и за целиот период на водоснабдување, без разлика на сезона и време од денот. Ова дополнително оптимизирано решение исто така нуди значителна заштеда на електрична енергија од **61%**. Имајќи предвид дека со ова решение се задоволуваат двата основни целни критериуми во нашето истражување во овој магистерски труд, а тоа се:

- зголемување на ефикасноста во работењето кај водоснабдителните системи преку намалување на потрошувачката на електрична енергија;
- подобрување на квалитетот на услугите во процесот на водоснабдување.

Сметаме дека вака добиениот оптимален режим на работа е најсоодветен во конкретно анализираниот водоснабдителен систем на ЈП „Плаваја“ од Радовиш.

Со цел успешно да се реализира овој оптимален режим на водоснабдување, сметаме дека е потребно и предлагаме да се изврши набавка, инсталирање и употреба на модерен систем за контрола, надзор и управување (SCADA систем) со системот за подготовка, испорака, дистрибуција и снабдување со вода во ЈП „Плаваја“ од Радовиш. Врз основа на информациите со кои располагаме, инвестициите во ваков систем се естимирани на вредност од околу **21 700 €** . Ако се земат во предвид

заштедите кои во прв ред овој систем би ги овозможил преку намалување на потрошувачката на електрична енергија, анализите покажуваат дека инвестицијата би се вратила за помалку од 3 години експлоатација. Дополнително, овој SCADA систем би довел и до други предности во работата на водоснабдителниот систем кои предности потешко можат да се квантифицираат како на пример:

- зголемен 24 часовен надзор над целокупниот систем во текот на целата година од една локација – оперативен центар на ЈП;
- намалување на непредвидените дефекти заради разлика на присоци или какви било други проблеми во водоснабдувањето;
- далечинско управување и надзор на параметрите на системот и нивна on-line промена за зависност од состојбата на системот и потребните на потрошувачите и сл.



## 9. КОРИСТЕНА ЛИТЕРАТУРА (REFERENCES):

1. A. Fanni, S. Liberatore, G.M. Sechi, M. Soro and P. Zuddas (2010) *Optimization of water distribution systems by a Tabu Search metheuristic*, University of Cagliari, Italy
2. ABB, *Power factor correction and harmonic filtering in electrical plants*, Technical Application Papers No. 8, December, 2010
3. Christian von Lucken, Benjamin Baran & Aldo Sotelo (2004). Pump Scheduling Optimization Using Asynchronous Parallel Evolutionary Algorithms. *Clel Electronic Journal*, Vol. 7, No. 2, Paper 2
4. Company profile, Lowara pumps...engineered for life (2014) Lowara, Excellence in Water Technology. Преземено на 1 август 2014 година. <http://www.lowara.com/company/index.php>
5. Dragan A. Savic, Godfrey A. Walters & Martin Schwab (1997). Multiobjective Genetic Algorithms for Pump Scheduling in Water Supply. *Selected Papers from AISB Workshop on Evolutionary Computing*, Pages 227 – 236
6. *Environmental Decision Making, Science and Technology*, (2003) Carnegie Mellon University, Преземено на 18 јуни 2014 година [http://telstar.ote.cmu.edu/environ/m3/s3/all\\_ene\\_sys.htm](http://telstar.ote.cmu.edu/environ/m3/s3/all_ene_sys.htm)
7. H. M. Ramos, L. H. M. Costa and F. V. Gonçalves (2012). *Energy Efficiency in Water Supply Systems: GA for Pump Schedule Optimization and ANN for Hybrid Energy Prediction*, *Water Supply System Analysis - Selected Topics*, Dr. Avi Ostfeld (Ed.),
8. Harry E. Hickey (2008) *Water Supply Systems and Evaluation Methods – Volume I: Water Supply System Concepts*, FEMA - U.S. Fire Administration
9. Hindawi Publishing Corporation, *Journal of Energy*, *Research Article: Energy Cost Optimization in a Water Supply System Case Study*, Daniel F. Moreira and Helena M. Ramos, Преземено на 9 јуни 2014 г. <http://www.hindawi.com/journals/jen/2013/620698/>
10. Ioan Sarbu (2010) *Optimization of Water Distribution Networks*, Politehnika University of Timisoara, Timisoara
11. Jonathan De La Vega, Douglas Alem (2009) *An Improved Stochastic Optimization Model for Water Supply Pumping Systems in Urban Networks*, São Paulo, Brasil, CEP 18052-780

12. L.K Reynolds, S. Bunn (2010). *Integrating Water Systems - Boxall & Maksimovic (eds): Improving energy efficiency of pumping systems through real-time scheduling systems*, Taylor & Francis Group, London
13. Larry W. Mays and Yeou-Koung Tung, (1992) *Hydrosystems Engineering and Management*, Singapore.
14. Leroy Somer – 3-phase TEFV induction motors (slip-ring or cage type), *Installation and maintenance* (2007) MOTEURS LEROY-SOMER 16015 ANGOULÊME CEDEX – FRANCE
15. Leroy Somer - 3-phase TEFV cage induction motors (Aluminium alloy frame - 0.045 to 200 kW) - *Technical catalogue* (2010) MOTEURS LEROY-SOMER 16015 ANGOULÊME CEDEX – FRANCE
16. Lowara, *Vertical Multistage Electric Pumps - SV Series: SV 2, SV 4, SV 8, SV 16, SV 33, SV 46, SV 66, SV 92* (2013) ITT Industries
17. Lowara, *SV Series, Vertical Multistage Centrifugal Pumps* (2013) ITT Industries
18. Lowara – a xylem brand, e-SV Series, 1, 2, 5, 10, 15, 22, 33, 46, 66, 92, 125 *Vertical Multistage Electric Pumps* (2013) LOWARA S.r.l. Unipersonale
19. Marreli Motori – *Three Phase Squirrel Cage Induction Motors, MA - A4 - B4 - B5 Series, 63 - 400 Sizes, Technical Catalogue* (2010)
20. Mordecai Feldman, *Aspects of Energy Efficiency in Water Supply, Proceedings of the 5<sup>th</sup> IWA Water Loss Reduction Specialist Conference* 26-30 April Cape Town South Africa pp. 85-89, 2009
21. Muhannad Alrheeh & Habib Mahmoud (2009). Using Genetic Algorithms in Pump Scheduling to Reduce the Pumping Cost. Damascus University Journal, Vol. 25, No. 2
22. NEPSI, *The Fallacy of Cost per Kvar*, Northeast Power Systems, 2012
23. Ryszard Klempous, Jerzy Kotowski, Jan Nikodem, Jędrzej Ulasiewicz (1997) *Optimization algorithms of operative control in water distribution systems*, Institute of Technical Cybernetics, The Wrocław Technical University, Poland
24. Schneider Electric, *Reactive Energy Management – Low Voltage components*, Catalogue 2013
25. The Alliance to Save Energy: Judith A. Barry (2007), *WATERGY: Energy and Water Efficiency in Municipal Water Supply and Wastewater Treatment Cost-Effective Savings of Water and Energy*

26. Tjandraatmadja, G., Pollard, C., Sharma, A. and Gardner, T. (2011) *Dissecting Rainwater Pump Energy Use in Urban Households, in Science Forum and Stakeholder Engagement: Building Linkages, Collaboration and Science Quality*, (eds) D.K., Begbie and S.L., Wakem, Urban Water Security Research Alliance, September 2011, Brisbane, Queensland
27. Боб Еверт, Годфи Бојл, Стивен Пике и Џенет Рамаж. (2003) *Енергетски системи и одржливост – Моќност за одржлива иднина*. Проект на Влада на РМ „Преведување на 1000 стручни и научни книги и учебници“
28. ЕВН Македонија, Често поставувани прашања, Преземено на 10 јули 2014 г. <http://www.evn.mk/SpecialPages/FAQ.aspx>
29. Електрична енергија (2014). Регулаторна комисија за енергетика на Република Македонија. Преземено на 15 август 2014 година. <http://www.erc.org.mk/default.aspx>
30. *Енергетска Азбука*, (2014) Developed by Internet marketing agency Nova Solutions, Преземено на 10 јули 2014 година <http://energetskaazbuka.mk/poteklo-na-elektrichnata-energija/>
31. Енергетска ефикасност (2013). Агенција за енергетика на Република Македонија. Преземено на 14 јули 2014 г. [http://www.ea.gov.mk/index.php?option=com\\_content&view=article&id=52](http://www.ea.gov.mk/index.php?option=com_content&view=article&id=52)
32. *Правилник за цени на електрична енергија за снабдувачот во краен случај* (2012). Регулаторна комисија за енергетика на Република Македонија
33. Регулаторна комисија за енергетика на Република Македонија, *Цени – Електрична енергија*, Преземено на 6 јуни 2014 г. <http://www.erc.org.mk/pages.aspx?id=153>
34. Снабдување со вода за пиење и одведување на урбани и отпадни води во Општина Радовиш 2013 година – ЈП “Плаваја” јануари 2014 година
35. Центар за институционален развој – ЦИРа. (2002) *Инфотека – Организација на потрошувачите на Македонија, Енергетска Ефикасност*
36. Џеферсон В. Тестер, Елизабет М. Дрејк, Мајкл В. Голеј, Мајкл Џ. Дрискол и Вилијам А. Петерс. (2005) *Одржлива енергија – Избор меѓу опциите*. Проект на Влада на РМ „Преведување на 1000 стручни и научни книги и учебници“

**Славица Костадинова**  
**„ОПТИМИЗАЦИЈА НА ПОГОНСКИТЕ ТРОШОЦИ КАЈ**  
**ВОДОСНАБДИТЕЛНИТЕ СИСТЕМИ ПРЕКУ ЗГОЛЕМУВАЊЕ НА**  
**ЕНЕРГЕТСКАТА ЕФИКАСНОСТ“**  
**Универзитет „Гоце Делчев“– Штип**